



**Uso de *Phosfit 300* como fuente alternativa al uso de fosfatos inorgánicos en  
alimentación de gallinas ponedoras de huevo comercial**

Oyos Piarpuesan, Eloary Chermay

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

Ing. Ortiz Manzano, Mario Leonardo

19 de agosto de 2022



**Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura**

**Carrera de Ingeniería Agropecuaria**

**Certificación:**

Certifico que el trabajo de titulación: **Uso de Phosfit 300 como fuente alternativa al uso de fosfatos inorgánicos en alimentación de gallinas ponedoras de huevo comercial**, fue realizado por la señorita: **Oyos Piarpuesan, Eloary Chermay**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 19 de agosto de 2022



Firmado electrónicamente por:  
**MARIO LEONARDO  
ORTIZ MANZANO**

**Ing. Ortiz Manzano, Mario Leonardo**

C. C: 0602065435

## Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos

### 4. PROYECTO SRTA. ELOARY OYOS. final1 2 (1) (1).docx

Scanned on: 19:0 August 17, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	327
Words with Minor Changes	104
Paraphrased Words	175
Omitted Words	1410



MARIO LEONARDO  
ORTIZ MANZANO

**Ing. Ortiz Manzano, Mario Leonardo**

C. C: 0602065435



**Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura**

**Carrera de Ingeniería Agropecuaria**

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, **Oyos Piarpuesan, Eloary Chermay**, con cédula de ciudadanía No 1721348124, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo titulación: **Uso de Phosfit 300 como fuente alternativa al uso de fosfatos inorgánicos en alimentación de gallinas ponedoras de huevo comercial**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 19 de agosto de 2022

**Oyos Piarpuesan, Eloary Chermay**

C.C.: 1721348124



**Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura**

**Carrera de Ingeniería Agropecuaria**

**Autorización de Publicación**

Yo, **Oyos Piarpuesan, Eloary Chermay**, con cédula de ciudadanía No. 1721348124 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Uso de Phosfit 300 como fuente alternativa al uso de fosfatos inorgánicos en alimentación de gallinas ponedoras de huevo comercial** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Sangolquí, 19 de agosto de 2022

**Oyos Piarpuesan, Eloary Chermay**

C.C.:1721348124

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mis padres, Fanny y Guillermo, por acompañarme en cada paso de mi vida y sobre todo en mi vida universitaria, por cuidar de mí y estar orgullosos siempre.

A mis hermanos, Franklin y Kid, por enseñarme que las metas y los sueños se cumplen, y sobre todo a no tener miedo y jamás bajar la cabeza.

A mis cuñadas Ana María y Cinthy, por ser ese ejemplo de mujeres fuertes, valientes y profesionales.

A mis sobrinos Joaquín, Ian y Liam, por darme ratos de alegría en mis peores momentos y darme ese empujón para cumplir todas mis metas.

A Cristian por siempre estar conmigo en las buenas y en las malas, por estar orgulloso de mí, por darme su cariño y paciencia, por ser esa otra mitad.

A mis amigos, Edu, Alejandro y Diego, por haber compartido buenos y malos momentos, por aconsejarme, guiarme y compartir grandes aventuras.

**Eloary Chermay Oyos Piarpuesan**

### **Agradecimiento**

Agradezco profundamente al Ing. Mario Leonardo Ortiz Manzano, por ser mi mentor en la realización de este proyecto, darme su confianza, ser mi guía académico, por sus consejos y por motivarme a seguir adelante.

A la empresa Nutrion y sobre todo al Ing. Rómulo Falconi, por proporcionarme la confianza necesaria para poder realizar este proyecto.

A todo el personal de trabajo del taller de avicultura y balanceados, por ayudarme siempre que lo necesitaba, enseñarme sus trucos de trabajo, brindarme consejos y acompañarme todos los fines de semana de trabajo.

A mi querida Universidad de las Fuerzas ESPE, a mi querida institución IASA, por abrirme sus puertas, a todos los docentes por brindarme el conocimiento base para mi vida profesional.

A la parte de mi familia que se ha dedicado al trabajo de campo, por siempre brindarme su confianza para poder solventar trabajos y dudas.

**Eloary Chermay Ojos Piarpuesan**

## Índice de Contenidos

Carátula.....	1
Certificación .....	2
Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos.....	3
Responsabilidad de Autoría .....	4
Autorización de Publicación .....	5
Dedicatoria .....	6
Agradecimiento .....	7
Índice de Contenidos .....	8
Índice de Tablas.....	14
Índice de Figuras .....	17
Resumen.....	18
Abstract .....	19
Capítulo I.....	20
Introducción.....	20
Antecedentes .....	20
Justificación.....	21
Planteamiento del problema .....	22
Objetivos .....	23
<i>Objetivo general</i> .....	23
<i>Objetivo específico</i> .....	23

Hipótesis.....	23
<i>Hipótesis nula</i> .....	23
<i>Hipótesis alterna</i> .....	23
Capítulo II .....	24
Marco Referencial.....	24
Características generales de las gallinas.....	24
Características de líneas productoras de huevo (semi pesada).....	24
Aparato digestivo .....	25
Aparato reproductivo.....	26
<i>Ovario</i> .....	27
<i>Infundíbulo</i> .....	27
<i>Mágnium (segmento albugíneo)</i> .....	27
<i>Istmo</i> .....	27
<i>Útero (segmento calcífero)</i> .....	27
<i>Vagina</i> .....	28
Fisiología de la formación del huevo .....	28
<i>Cutícula</i> .....	28
<i>Cáscara</i> .....	28
<i>Membranas testáceas</i> .....	29
<i>Clara o albúmina</i> .....	29
<i>Yema o vitelo</i> .....	29
Características generales de aves de postura Lohmann Brown .....	30
Parámetros de calidad de huevo.....	31

	10
<i>Peso del huevo</i> .....	31
<i>Dureza de la cáscara</i> .....	32
<i>Grosor de la cáscara</i> .....	32
<i>Unidades Haugh</i> .....	33
<i>Color de yema</i> .....	33
<i>Altura de la albúmina</i> .....	34
Cáscara.....	35
Alteraciones en la cáscara.....	35
<i>Roturas finas</i> .....	35
<i>Roturas en estrella</i> .....	36
<i>Huevos con cáscara fina y en farfana</i> .....	36
<i>Cáscara áspera o rugosa</i> .....	36
<i>Huevos deformes</i> .....	37
<i>Huevos con cáscara aplanada</i> .....	37
<i>Huevos estriados</i> .....	37
<i>Huevos con cáscara granulosa</i> .....	37
<i>Huevos con cáscara agujereada</i> .....	38
<i>Huevos con cáscara moteada</i> .....	38
<i>Huevos sucios</i> .....	38
Digital Egg Tester Det 6000.....	38
Requerimientos nutricionales para gallinas ponedoras Lohmann Brown .....	39
Alimentación en fase 1 .....	39
Phosfit 300 .....	41
Uso de enzimas en dietas de ponedoras .....	41

	11
Metabolismo calcio y fósforo .....	42
<i>Calcio</i> .....	43
<i>Fósforo</i> .....	44
Fósforo en la alimentación animal.....	44
<i>Fuentes alternas de fósforo</i> .....	44
Requerimientos de calcio y fósforo en gallinas ponedoras.....	45
Fitasas.....	46
<i>Características generales de la fitasa</i> .....	46
Tipos de fitasas .....	46
<i>Fitasa en aves ponedoras</i> .....	48
Capítulo III .....	49
Materiales y metodología de la investigación .....	49
Ubicación y características del área de estudio.....	49
Ubicación geográfica .....	49
Ubicación ecológica .....	50
Materiales de campo.....	50
<i>Insumos</i> .....	50
<i>Equipo de laboratorio</i> .....	50
Métodos.....	51
<i>Tratamientos experimentales</i> .....	51
<i>Formulación de dietas</i> .....	51
<i>Suministro del alimento</i> .....	52
<i>Recopilación de datos</i> .....	53

	12
Diseño experimental .....	53
Croquis del diseño .....	54
Análisis estadístico .....	54
Mediciones experimentales .....	55
<i>Evaluación de parámetros zootécnicos</i> .....	55
Análisis económico .....	56
Capítulo IV.....	57
Resultados y discusión .....	57
Mortalidad.....	57
Conversión alimenticia.....	57
Porcentaje de postura.....	57
Peso de las aves (Kg).....	58
Producción por tratamiento.....	59
Peso del huevo (g) .....	61
Coloración de yema .....	61
Altura de albúmina (mm).....	62
Unidades Haugh .....	63
Dureza de cáscara (kgf).....	64
Grosor de cáscara (mm).....	64
Categoría (AA, A, B, C).....	65
Análisis de almacenamiento .....	65
Peso del huevo (g) .....	65
Coloración de yema .....	66

Altura de albúmina (mm).....	67
Unidades Haugh .....	67
Dureza de cáscara (kgf).....	68
Grosor de cáscara (mm).....	69
Categoría (AA, A, B, C).....	70
Análisis de espectrometría (SEM-EDS) .....	72
Análisis económico .....	74
Capítulo V .....	79
Conclusiones y recomendaciones.....	79
Conclusiones.....	79
Recomendaciones .....	80
Bibliografía .....	81

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b>	Funciones de las diferentes secciones del oviducto de la gallina .....	28
<b>Tabla 2</b>	Parámetros productivos de Lohman Brown .....	30
<b>Tabla 3</b>	Clasificación del huevo fresco de gallina de acuerdo al grado de calidad .....	31
<b>Tabla 4</b>	Clasificación de huevos fresco .....	32
<b>Tabla 5</b>	Valores y relación de calidad mediante Unidades Haugh.....	33
<b>Tabla 6</b>	Características físicas de un huevo comercial de gallina .....	34
<b>Tabla 7</b>	Recomendación en fase 1 para Kg de alimento en diferentes consumos diarios .....	40
<b>Tabla 8</b>	Composición Phosfit 300 .....	41
<b>Tabla 9</b>	Contenido de P total - fítico en alimentos vegetales .....	45
<b>Tabla 10</b>	Dosis en dietas experimentales.....	52
<b>Tabla 11</b>	Composición nutricional de las dietas suplementadas a las aves bajo tratamientos.....	52
<b>Tabla 12</b>	Esquema del experimento a emplearse .....	54
<b>Tabla 13</b>	Conversión alimenticia para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown fase 1.....	57
<b>Tabla 14</b>	Porcentaje de postura para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante el período de fase 1.....	58
<b>Tabla 15</b>	Peso de las aves en kg para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante fase 1 .....	58
<b>Tabla 16</b>	Producción para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante fase 1.....	60
<b>Tabla 17</b>	Peso del huevo (g) para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante fase 1 .....	61

<b>Tabla 18</b>	Coloración de yema para cada tratamiento en gallinas Lohmann	
	Brown durante fase 1.....	62
<b>Tabla 19</b>	Altura de albúmina (mm) para cada tratamiento en gallinas	
	Lohmann Brown durante fase 1.....	62
<b>Tabla 20</b>	Unidades Haugh para cada tratamiento en gallinas Lohmann	
	Brown durante fase 1.....	63
<b>Tabla 21</b>	Dureza de cáscara (Kgf) para cada tratamiento en gallinas	
	Lohmann Brown durante fase 1.....	64
<b>Tabla 22</b>	Grosor de cáscara (mm) para cada tratamiento en gallinas	
	Lohmann Brown durante fase1.....	65
<b>Tabla 23</b>	Peso del huevo (g) para cada tratamiento en gallinas Lohmann	
	Brown durante 5 semanas de evaluación.....	66
<b>Tabla 24</b>	Coloración de yema para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown	
	durante 5 semanas de evaluación.....	66
<b>Tabla 25</b>	Altura de albúmina (mm) para cada tratamiento en gallinas Lohmann	
	Brown durante 5 semanas de evaluación.....	67
<b>Tabla 26</b>	Unidades Haugh para cada tratamiento en gallinas Lohmann	
	Brown durante 5 semanas de experimento.....	68
<b>Tabla 27</b>	Dureza de cáscara (kgf) para cada tratamiento en gallinas	
	Lohmann Brown durante 5 semanas de evaluación.....	69
<b>Tabla 28</b>	Grosor de cáscara (mm) para cada tratamiento en gallinas	
	Lohmann Brown durante 5 semanas de evaluación.....	70
<b>Tabla 29</b>	Calidad (AA, A, B, C) para cada tratamiento en gallinas	
	Lohmann Brown durante 5 semanas de evaluación.....	70
<b>Tabla 30</b>	Análisis de espectrometría SEM-EDS en las los tratamientos experimentales.....	74

<b>Tabla 31</b> Análisis económico de los tratamientos evaluados para el primer mes.....	75
<b>Tabla 32</b> Análisis económico de los tratamientos evaluados para el segundo mes .....	75
<b>Tabla 33</b> Análisis económico de los tratamientos evaluados para el tercer mes.....	77
<b>Tabla 34</b> Análisis económico de los tratamientos evaluados para el cuarto mes .....	78

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b>	Hacienda “El Prado”, taller de Avicultura .....	49
<b>Figura 2</b>	Croquis experimental.....	54
<b>Figura 3</b>	Incremento de peso semanal para cada tratamiento durante fase 1 .....	59
<b>Figura 4</b>	Producción de huevos en los diferentes tratamientos durante fase 1 .....	60
<b>Figura 5</b>	Ranking de calidad de huevos en almacenamiento para T0 .....	71
<b>Figura 6</b>	Ranking de calidad de huevos en almacenamiento para T1 .....	71
<b>Figura 7</b>	Espectrometría realizada en cáscara de tratamiento Phosfit 300.....	73
<b>Figura 8</b>	Espectrometría realizada en cáscara de tratamiento fosfato mono cálcico.....	73

## Resumen

El objetivo del presente proyecto fue determinar el efecto de una fuente orgánica de fósforo como alternativa de remplazo para una fuente de fósforo inorgánico, en gallinas de postura Lohmann Brown Classic sobre los parámetros zootécnicos y de calidad de huevo, durante 14 semanas de trabajo. Los tratamientos aplicados fueron los siguientes: T0 dieta con inclusión de fósforo 21/17 y T1 dieta con inclusión de *Phosfit 300*. Se utilizaron en total 800 aves que fueron divididas para los dos tratamientos, se trabajó con un diseño completamente al azar con 5 repeticiones por tratamiento, con 80 unidades experimentales y 5 aves por jaula, el espacio físico de la jaula para las aves fue de  $565 \text{ cm}^2 / \text{ave}$ , se proporcionó  $120 \text{ g/ave/día}$  de alimento, mientras que el consumo de agua fue ad libitum, previo a la etapa de evaluación de los parámetros establecidos se dio un periodo de adaptación del alimento. En cuanto a parámetros, zootécnicos se establecieron los siguientes: mortalidad (%), conversión alimenticia, postura (%), peso de las aves (kg), producción por tratamiento. Los parámetros de calidad de huevo fueron los siguientes: peso de huevo (g), color de yema, altura de albúmina (mm), Unidades Haugh, grosor de cáscara (mm), dureza de cáscara (kgf) e índice de calidad (AA; A; B; C). Se encontró diferencia significativa en las variables de altura de albúmina y Unidades Haugh, mientras que para el peso de las aves (kg), postura (%), conversión alimenticia, producción de huevos/ tratamiento, peso de huevo (g), dureza de cáscara (kgf), grosor de cáscara (mm) e índice de calidad no hubo diferencia significativa entre tratamientos ( $p > 0,05$ ). Para el experimento de huevos en percha hubo diferencia significativa para altura de albúmina (mm) y Unidades Haugh, para peso de huevo (g), color de yema, dureza de cáscara (kgf) y grosor de cáscara (mm) no hubo diferencia significativa ( $p > 0,05$ ). En el análisis económico se demostró que ambas dietas presentan un beneficio/costo mayor a 1, pero el tratamiento T1 con *Phosfit 300* genera más ingresos que el T0 con fosfato mono cálcico.

**Palabras clave:** calidad de huevo, parámetros zootécnicos, fitasas, enzimas

### Abstract

The objective of this project was to determine the effect of an organic source of phosphorus as a replacement alternative for an inorganic phosphorus source, in Lohmann Brown Classic laying hens on zootechnical and egg quality parameters, for 14 weeks of work. The treatments applied were the following: T0 diet including phosphorus 21/17 and T1 diet including *Phosfit 300*. A total of 800 birds were used which were divided for the two treatments, worked with a completely random design with 5 repetitions per treatment, with 80 experimental units and 5 birds per cage, the physical space of the cage for birds was  $\text{cm}^2 / \text{ave}$ , 120 g/bird/day of food was provided, while water consumption was ad libitum, prior to the stage of evaluation of the established parameters a periodThe adaptation of the food was given. As for parameters, zootechnics were established the following: mortality (%), feed conversion, posture (%), bird weight (kg), production by treatment. Egg quality parameters were as follows: egg weight (g), yolk color, albumin height (mm), Haugh units, shell thickness (mm), shell hardness (kgf) and quality index (AA; A; B; C). Significant difference was found in the height variables of albumin and Haugh Units, while for the weight of birds (kg), posture (%), feed conversion, egg production/ treatment, egg weight (g), shell hardness (kgf), shell thickness (mm) There was no significant difference between treatments ( $p > 0.05$ ). For the perch egg experiment there was significant difference for albumin height (mm) and Haugh units, for egg weight (g), yolk color, shell hardness (kgf) and shell thickness (mm) there was no significant difference ( $p > 0.05$ ). The economic analysis showed that both diets have a benefit/cost greater than 1, but the T1 treatment with *Phosfit 300* generates more income than the T0 with mono calcium phosphate.

**Keywords:** egg quality, zootechnical parameters, phytases, enzymes

## Capítulo I

### Introducción

#### Antecedentes

Se conoce a la avicultura como la técnica que tiene diversas prácticas de producción que se dan sobre aves de corral con la finalidad de obtener carne o huevos para su venta; para que estos productos sean comercializados en el mercado y tengan un valor agregado deben cumplir con rangos de nutrición, esto es posible gracias a las diversas dietas que se implementan en estos animales en distintas fases y dependiendo del objetivo de producción (Toalombo, 2019).

El campo de la nutrición para aves de corral se encuentra cada día desarrollando nuevas tecnologías que permiten a los técnicos suplementar novedosos nutrientes a las dietas dándole un valor agregado que va más allá del convencional, además de que logran cubrir los requerimientos energéticos y de producción, estos nutrientes no solo potencializan la producción o el sistema inmunológico de los animales, sino que también generan un cambio ambiental y un ingreso económico mayor al establecido (Oliveira et al., 2019).

Actualmente las enzimas se han convertido en la mejor herramienta para la formulación de dietas balanceadas ya que han logrado reemplazar, potencializar y optimizar el uso de ciertos elementos que son de baja calidad o se encuentran como limitantes en las dietas, además de que con el uso de estas enzimas se consigue bajar los costos de realización de estas formulaciones (Yépez, 2022).

La integración de fitasas es más común en países desarrollados como por ejemplo E.E.U.U y subdesarrollados en donde se encuentra gran parte de América latina, esta empezó siendo utilizada en dietas directamente para pollos de engorde en donde se denotan sus resultados, pero hoy en día está cursando por la producción de huevos en el cual los estudios indican que sus resultados son una buena producción y una mejoría en la calidad del huevo.

A pesar de los resultados y la información pertinente sobre el uso de esta enzima hay cierto desinterés y rechazo por su uso de manera comercial, ya que se registran ensayos en donde los resultados no son los esperados; ciertas investigaciones que debaten estas derivaciones indican que estos datos se generan por el mal almacenamiento, uso o cantidades superiores o inferiores de estas enzimas en la dieta generando un mal acoplamiento y por ende nula producción (Coloma, 2019).

### **Justificación**

Ciertos métodos que son empleados en la industria del procesamiento de cereales y leguminosas producen un efecto reductivo en la concentración del ácido fítico considerándose también como una inactivación temporal. Para lograr una mejora en el proceso de hidrólisis en el ácido fítico las experimentaciones realizadas recomiendan la adición de fitasas exógenas que independientemente de su origen han dado buenos resultados en la alimentación animal (Ren et al., 2020).

Varios estudios que se han realizado en animales mono gástricos específicamente en dietas balanceadas han demostrado que la incorporación de fitasas exógenas genera una mejora de la disponibilidad mineral; por lo tanto esta evidencia respaldada por las investigaciones hacen que el uso de fitasas (origen microbiano) este autorizado para su empleo en la alimentación de animales sobre todo de aquellos que se dedican a la producción , investigaciones recientes se encaminan a demostrar que la fitasa logra aumenta la disponibilidad del fósforo que se encuentra almacenado en el ácido fítico, una de las ventajas de este procedimiento es la reducción de dicho elemento en las heces fecales de los animales lo cual es favorecedor para el medio ambiente (Ren et al., 2020).

De igual manera se encuentra estrictamente relacionada en el aspecto económico del procesamiento de una dieta balanceada ya que el incremento de los costos del fosfato actualmente superan los \$1300 dólares para una tonelada métrica por lo cual el precio del

alimento balanceado en kilogramo sufre incrementos en ciertos periodos de tiempo debido a que una dieta básica direccionada a la avicultura en gallinas ponedoras tiene una base maíz – soya que en promedio debe contener 12 kilogramos de fosfato (Habibollahi et al., 2019).

El uso de fuentes externas de fitasas más la incorporación de una fitasa 300 reemplaza al fosfato mono dicálcico en relación 1:1, debido a que el *Phosfit 300* tiene la capacidad de lograr que se disponga en su mayoría el fosfato fítico que se encuentra dentro de los vegetales incorporados a la dieta, de esta manera se logran abaratar los costos de producción de alimento balanceado que a su vez logra potenciar la producción de los animales y por ende una ganancia económica mayor (Nutrion, 2022).

### **Planteamiento del problema**

La producción y la calidad de huevo dependen de la alimentación, edad de las aves, estado sanitario y requerimientos nutricionales, hoy en día las líneas genéticas productoras de huevo tienen mayores exigencias en cuanto a su alimentación, por ende, los parámetros de calidad de huevo deben encontrarse en los rangos exigidos por la norma INEN, (2013) (Oliveira et al., 2019).

El mayor limitante a la hora de formular alimento balanceado para gallinas ponedoras es el costo de cada una de las materias primas, ya que se espera que el proyecto sea rentable y a su vez el alimento balanceado cumpla con los requerimientos nutricionales del ave, por lo tanto, los productores hoy en día buscan diferentes alternativas a materias primas, aminoácidos y minerales en el mercado, siempre y cuando estos logren cumplir o mejorar los parámetros de producción y calidad de huevo, de esta manera el productor tienen un margen de ganancia mayor (Habibollahi et al., 2019).

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Validar el uso de *Phosfit 300* como una fuente alternativa al uso de fosfatos inorgánicos en dietas de gallinas ponedoras de huevo comercial, mediante el suministro en el alimento concentrado para reducir costos de producción, mejorar los parámetros zootécnicos y de calidad de huevo.

### **Objetivo específico**

- Determinar el efecto de la enzima *Phosfit 300* en los parámetros zootécnicos en la fase 1 de postura en gallinas Lohoman Brown en comparación de un testigo absoluto.
- Determinar el efecto de la enzima *Phosfit 300* en los diferentes parámetros de calidad de huevo (peso, resistencia, color yema, altura de albumen, Unidades Haugh y espesor de cáscara) en comparación de un testigo absoluto.
- Determinar el tratamiento económicamente más viable.

## **Hipótesis**

### **Hipótesis nula**

La enzima *Phosfit 300* no tiene efecto en los parámetros zootécnicos ni en la calidad del huevo comparado con un testigo absoluto.

### **Hipótesis alterna**

La enzima *Phosfit 300* tiene efecto en los parámetros zootécnicos y en la calidad de huevo comparado con un testigo absoluto.

## Capítulo II

### Marco Referencial

#### **Características generales de las gallinas**

La gallina doméstica descende originalmente de aves salvajes que en su pasado reinaban las selvas del Suroeste Asiático, gracias a las constantes exploraciones e investigaciones científicas, se ha logrado encontrar evidencia que indica la presencia de estas aves en el Chaco paraguayo. En el orden *gallinae* corresponde actualmente a más de 400 especies que recurren a ciertas características generales como el anidar en el suelo, vuelo pesado y alimentación a base de insectos, hierbas y granos. La domesticación de estos especímenes ha generado la actividad avícola de la cual se aprovecha sus productos, siendo estos carne y huevos (Toalombo, 2019).

De manera externa el ave se visualiza con las siguientes características, la cabeza es redonda y pequeña, se encuentra cubierta de plumas en la gran mayoría de líneas genéticas, el pico es la apertura bucal de las aves y sobre él se encuentran sus orificios nasales, sus ojos son redondeados, prominentes y brillantes (Toalombo, 2019).

#### **Características de líneas productoras de huevo (semi pesada)**

La clasificación de gallinas que son destinadas a proyectos de avicultura presenta puntos de categorización, empezando desde la raza, variedad, estirpe, línea o si son consideradas como híbridos, también se tiene en cuenta el aspecto corporal en donde sobresale el peso como determinante, en esta categoría se tiene a gallinas pesadas, semi pesadas y livianas (Oliveira et al., 2019).

Las gallinas semi pesadas o también conocidas como doble fin, son de origen americano de cruces de aves que son destinadas para la postura o engorde, presentan un plumaje generalmente de color castaño, pero también se consideran aquellas con plumajes negros o blancas, sus huevos son de color marrón, adaptación a los sistemas extensivos de

explotación, en el caso de que sean aves destinadas a la producción de huevos, estas pueden llegar a los 300 huevos por año, aves muy dóciles y de fácil manejo (Malchow et al., 2022).

### **Aparato digestivo**

El sistema digestivo de estos animales tiene una importancia relevante en cuanto al bienestar animal, salud y producción, ya que presenta ciertas particularidades como por ejemplo el consumir grandes cantidades de alimento como método de supervivencia, en este caso gracias a la dilatación del buche el alimento puede almacenarse temporalmente, además de que las gallinas de corral se presentan mucho más activas en horas del atardecer y su proceso de digestión se realiza mientras ellas duermen, debido a que las gallinas carecen de dientes utilizan dos medios para lograr la digestión siendo el primero un proceso en el cual se involucran reacciones químicas y el segundo una acción mecánica que facilita el proceso de digestión (Ramos, 2019).

El aparato digestivo de las aves empieza desde el pico que se caracteriza por no tener labios ni dientes, pero si un paladar secundario denominado glotis, debido a la carencia de dientes, el alimento es tragado entero y desdoblado en las demás cámaras digestivas que cumplen diversidad de funciones y en donde se realiza cierta absorción de nutrientes (Ramos, 2019).

El esófago es considerado un canal de paso para llegar hacia el buche en donde se almacena el alimento de manera temporal y se produce un ablandamiento ligero gracias a su musculatura, cuando a las aves se les suministra alimento en grano este puede ser almacenado hasta por 12 horas y pasa hacia el estómago o pro ventrículo en donde gracias a secreciones digestivas por glándulas gástricas que se encuentran en la pared del pro ventrículo el alimento pasa por un segundo desdoblamiento, hay una absorción de nutrientes y una mezcla del alimento con los jugos gástricos (Ramos, 2019).

La siguiente cámara es la molleja, ventrículo o también conocido como estómago mecánico del ave la cual presenta músculos fuertes que rodean una bolsa que generalmente contiene pequeñas piedrecillas que toman el nombre de grit y que son ingeridas de manera voluntaria por el animal, cumplen la función de triturar el alimento que no ha sido desdoblado anteriormente como semillas o partículas grandes que se encuentran en la dieta, pero por lo general para aves que se alimentan de piensos específicos no necesitan ingerir este tipo de herramientas, ya que estos piensos se encuentran modificados para su estadio (Ramos, 2019).

Luego de la molleja se encuentra el intestino delgado que es la siguiente parada del alimento y es pieza importante en la salud de las aves, porque debido a su estructura aquí se absorberá la gran mayoría de nutrientes, para finalizar el recorrido del alimento lo que no ha podido ser absorbido en su totalidad llega hasta el intestino grueso en donde hay mayor absorción de agua, pasa finalmente a la cloaca en donde igualmente se capta algo de humedad y el animal expulsa este resultado a manera de excretas, se considera que desde el inicio de este proceso hasta su expulsión se recorre un tiempo de 3 a 4 horas siendo este dato referencial para un animal sano (Rodríguez et al., 2017).

### **Aparato reproductivo**

El aparato reproductivo de una gallina ponedora presenta una característica en particular la cual la hace diferente a las demás hembras monogástricas, la pollita al nacimiento costa de todos sus órganos reproductivos, los cuales son dos ovarios y dos oviductos distribuidos de manera homogénea tanto en el lado derecho como en el izquierdo (Paca, 2021).

El cambio se produce en las primeras semanas de desarrollo, ya que el lado derecho pasa por un periodo de atrofia debido a la nula presencia del epitelio gonadal, dando como resultado que estos dos órganos desaparezcan y que la gallina adulta trabaje solo con un ovario y oviducto que se encuentran situados en el lado izquierdo (Paca, 2021).

**Ovario**

Se sitúa en la parte inferior de la cavidad abdominal, la forma del ovario de una gallina saludable es a manera de racimo, en la parte superior de este se encuentran varios folículos que dentro de ellos abarcan a más de 4000 óvulos de los cuales solo uno será transformado en la yema (Martín, 2019a) .

**Infundíbulo**

Luego del ovario se encuentra el infundíbulo que es el primer segmento que constituye el oviducto, se caracteriza morfológicamente por la forma invertida de un embudo el cual cumple la función de capturar a la yema o mejor conocida como vitelo luego del proceso de ovulación, aquí la yema permanece entre 15 a 30 minutos, se da la formación de dos capas externas de la membrana vitelina que cumplen el rol de protección de la yema (Martín, 2019a).

**Mágnium (segmento albugíneo)**

El segundo segmento de mayor longitud es el mágnium, en donde hay abundancia de células y glándulas secretoras que se encargan de la formación del albumen o mejor conocido como clara, se la conoce como una solución acuosa con un 90% de agua, proteínas y minerales (Martín, 2019a).

**Istmo**

El tercer segmento de tamaño reducido es el istmo en donde se forma la testácea interna, que es la membrana protectora de la clara (Martín, 2019a).

**Útero (segmento calcífero)**

El huevo llega al útero aproximadamente en 5 horas luego de iniciado el proceso de ovulación y permanece en este entre 18 a 22 horas, gracias a la presencia de glándulas en los pliegues que se encuentran en las paredes musculares se da la formación de cáscara por el agregado de calcio (Martín, 2019a).

## **Vagina**

Su función principal es la unión del útero y la cloaca, en este lugar hay ausencia de glándulas secretoras, presenta pliegues longitudinales, además se forma la cutícula que es la encargada de evitar el paso de microorganismos (Martín, 2019a).

**Tabla 1**

*Funciones de las diferentes secciones del oviducto de la gallina*

<b>Sección del oviducto</b>	<b>Tiempo de permanencia</b>	<b>Función de cada sección</b>
Infundíbulo	15 minutos	Recoge el óvulo
Magnum	3 horas	Formación del albumen
Istmo	1 hora	Formación de membrana interna y externa de la cáscara
Útero	21 horas	Depósito de carbonato de calcio
Vagina/cloaca	Menos 1 minuto	Paso del huevo antes de la puesta

*Nota.* Recuperado de Cuéllar. Copyright 2021 por Martín. Reprinted with permission

## **Fisiología de la formación del huevo**

### **Cutícula**

Capa proteica de consistencia espumosa que tiene un espesor de 10  $\mu\text{m}$  a 30 micras, se encuentra compuesta principal por la mucina, tiene la función de impedir la invasión microbiana dentro del huevo por la entrada de partículas de consistencia sólida o líquida a través de la cáscara, esta se presenta solo en huevos recién puestos (Ionita, 2022).

### **Cáscara**

La formación de esta estructura toma alrededor de 20 horas, en donde se realiza un proceso de homeostasis de calcio, el cual es obtenido por dos fuentes, la primera por la parte ósea del ave y la segunda por medio del alimento, esta estructura es porosa, ya que presenta

alrededor de 7000 a 17000 poros, su color dependerá de la línea genética de la gallina, su conformación proteica se encuentra relacionada a la cantidad de carbonato de calcio, dando una relación de 1:50, sus elementos principales son calcio en un 98.2%, magnesio en un 0.9% y fósforo en un 0.9% (Cuéllar, 2021).

### ***Membranas testáceas***

Son dos membranas finas también conocidas como fáfparas que rodean a la yema y la clara, internamente recubren a la cáscara, su proceso de formación se da en el istmo en donde se produce otro fenómeno conocido como plumping que es la hidratación de la albúmina, se considera que en esta sección se tiene el doble de gramos de agua, las membranas testáceas cumplen otra función que es la mineralización de la cáscara, ya que sobre ellas se alojan los cristales de carbonato de calcio (Soler & Bueso, 2017).

### ***Clara o albúmina***

Su formación se da en el mágnun, contiene una cantidad menor de proteínas en relación con la yema, con un 9.1% de proteínas y 0.03% de lípidos, se presenta como una solución acuosa con un contenido de agua de 18 g, en la formación de la clara también interviene la presencia de las chalazas que son filamentos de albúmina de forma espiral que se da por la torsión de las fibras de mucina (Soler & Bueso, 2017).

### ***Yema o vitelo***

Presenta una membrana vitelina que la rodea y evita el contacto con la albúmina, concentra el mayor contenido de vitaminas y minerales, con un 15.16% de proteínas y 31.35% de lípidos, es la parte central del huevo con una coloración amarillenta o naranja que depende totalmente del alimento y su concentración de xantofilas y carotenoides, esta característica es importante desde el punto de vista del consumidor (Soler & Bueso, 2017).

## Características generales de aves de postura Lohmann Brown

Esta línea de producción es el resultado de varios cruces sistemáticos de dos líneas genéticas potentes en donde la selección de la hembra viene por parte de la Leghorn blanca y el macho corresponde al Warren rojo, originarios de Alemania, el resultado de varios años de investigación y reproducción generaron la Lohmann Brown que lidera mundialmente el mercado de producción de huevos (Soriano, 2021).

**Tabla 2**

*Parámetros productivos de Lohman Brown*

	<b>Edad 50% de producción</b>	140-150 días
	<b>Pico de producción</b>	92-94%
	<b># huevos / gallina alojada (puesta)</b>	<b>Unidades</b>
	12 meses	295-305
	14 meses	335-345
<b>Puesta</b>		
	<b>Masa de huevo/ gallina alojada (puesta)</b>	<b>Kilogramos</b>
	12 meses	18.8-19.8
	14 meses	21.4-22.4
	<b>Peso medio del huevo</b>	<b>Gramos</b>
	12 meses	63.5-64.5
	14 meses	65.65
<b>Características del producto (huevo-cáscara)</b>	Color	Marrón
	Resistencia	+ 35 Newton
<b>Consumo de pienso</b>	1-20 semanas (puesta)	7.4-7.8 Kg (110-120 g/día)
	20 semanas	1.6-1.7 Kg
<b>Peso corporal</b>	Final de la producción	1.9-2.1 Kg
	Crianza	97-98%
<b>Viabilidad</b>	Puesta	96%

*Nota.* Recuperado de Lohmann Breeders. Copyright 2021 por Lohmann Breeders. Reprinted with permission

## Parámetros de calidad de huevo

La calidad del huevo es sumamente importante desde el punto de vista del bienestar animal, ya que se puede observar y determinar el estado de salud de las aves, además de los niveles de nutrientes aplicados, para que el producto final pueda ser comercializado es importante que el huevo cumpla con parámetros de color, peso, grosor de cáscara y uniformidad de manera externa, mientras que de manera interna debe cumplir con parámetros ya establecidos de Unidades Haugh, color de yema y altura de la albúmina (Soriano, 2021).

Las primeras 5 horas de formación se le atribuye a la calidad interna del huevo, los 20 restantes están relacionadas con la formación de cáscara y la hidratación del albumen, en este proceso el alimento que el ave ha ingerido es procesado de manera que todos los nutrientes sean transformados en elementos esenciales que conlleva el producto final (Martín, 2019c).

**Tabla 3**

*Clasificación del huevo fresco de gallina de acuerdo al grado de calidad*

	<b>Grado A</b>	<b>Grado B</b>
Cáscara y cutícula	Normal, intacta y limpia.	Normal e intacta, manchas de carácter mínimo no propias del producto.
Cámara de aire	No debe exceder los 9 mm, inmóvil.	No debe exceder los 5 mm, inmóvil.
Clara	Transparente, limpia, consistencia gelatinosa, sin cuerpos extraños.	Transparente, limpia, de consistencia gelatinosa. Se admiten manchas de sangre o de carne hasta 3 mm.
Yema	Visible al trasluz, sin contorno aparente, no separándose sensiblemente de la posición central en caso de la rotación del huevo, sin cuerpos extraños.	Visible al trasluz, sin contorno aparente, pequeña separación en caso de la rotación del huevo. Se admiten manchas de sangre o de carne hasta 3 mm.
Olor y sabor	Sin olores ni sabores extraños.	Sin olores ni sabores extraños.

*Nota.* Recuperado de INEN. Copyright 2013 por Inen. Reprinted with permission

## Peso del huevo

El peso del huevo está directamente relacionado con la dieta del animal, edad y raza, para los dos últimos puntos mientras más avanza la edad del ave más pesado es el huevo, debido al aumento del tamaño de la yema, Lohmann Brown es una línea genética de gallinas

ponedoras que tienen huevos de gran aprecio comercial, a las 72 semanas de edad el peso de huevo alojado se encuentra en un promedio de 63,9 gramos, a las 80 semanas está en 64,4 gramos y finalmente a las 95 semanas de edad llega a pesar hasta los 65,2 gramos (Lohmann Breeders, 2021).

**Tabla 4**

*Clasificación de huevos fresco*

Tipo (tamaño)	Masa unitaria		Masa por docena		Masa por 30	
	en g		en g		huevos en g	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
I Supergigante	76		912		2280	
II Gigante	70	76	840	912	2100	2280
III Extragrande	64	70	768	840	1920	2100
IV Grande	58	64	969	768	1740	1920
V Mediano	50	58	600	969	1500	1740
VI Pequeño	46	50	552	600	1380	1500
VII Inicial		46		552		1380

*Nota.* Recuperado de INEN. Copyright 2013 por Inen. Reprinted with permission

### **Dureza de la cáscara**

Depende de factores nutricionales, genéticos y del manejo a la hora de la recolección, pero sobre todo se enfoca en el factor nutricional debido a la cantidad de calcio que se incorpora en la dieta, ya que la cantidad adecuada logrará que en la producción no se reflejan huevos con cascarones frágiles (Rodríguez, 2019).

### **Grosor de la cáscara**

INEN, (2013) determina que el grosor de la cáscara de huevos comerciales debe encontrarse en un rango de 0,28 a 0,37 mm, dato que permite identificar que el cascarón cumpla correctamente su función de protección en la recolección y transporte, cascarones que presentan valores inferiores a los que dicta la norma son frágiles y su ruptura presenta un

problema de invasión de microorganismos que dañan al huevo, incluso mucho antes de llegar a su punto de comercialización (INEN, 2013).

### Unidades Haugh

Un lineamiento para determinar la calidad interna del huevo relacionada con la frescura y la calidad proteica son las Unidades haugh, su valor se relaciona con el peso total del huevo y la altura de la clara densa, pero se encuentra limitado por la temperatura del ambiente, a mayor exposición de la muestra al medio ambiente disminuye su calidad, por lo tanto, se considera que la medición debe tener un rango de temperatura óptima de 7 a 15° C, cuando la temperatura sube 10 grados más son 1,15 U. H menos (Martín, 2019b).

**Tabla 5**

*Valores y relación de calidad mediante Unidades Haugh*

Unidades Haugh (UH)	Calidad
> 90	Excelente
80	Muy buena
70	Aceptable
60	Límite para consumo
< 55	Mala

*Nota.* Recuperado de INEN. Copyright 2013 por

Inen. Reprinted with permission

### Color de yema

Este parámetro no es indicativo del valor nutricional del huevo, se considera más como un aspecto visual que genera atracción hacia el consumidor, por lo tanto, es un factor modificable en la dieta, en la cual pueden colocarse xantofilas o carotenos que son componentes derivados de plantas, ciertos crustáceos y microorganismos, los carotenos por su composición proporcionan un color pálido a la yema mientras que las xantofilas son las encargadas de un color mucho más intenso, el método mayormente usado para la medición de la coloración es el abanico colorimétrico de Roche en donde se encuentran preestablecidas 15

tonalidades que empiezan con una escala creciente desde el amarillo pálido y finalizan en un naranja rojizo (Maguregui, 2020).

**Tabla 6**

*Características físicas de un huevo comercial de gallina*

<b>Parámetro</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método</b>
Color de yema	7	12	unidades de color	Abanico colorimétrico
Grado de frescura	70	110	Unidades Haugh	Medición de unidades Haugh
Cámara de airea		15	milímetros	Ovoscopía
Espesor de cáscara	0,28	0,37	milímetros	Medición directa
Gravedad específica	1,074	1,140		Solución salina

*Nota.* Recuperado de INEN. Copyright 2013 por Inen. Reprinted with permission

### **Altura de la albúmina**

Su medición inicia entre el borde de la albúmina y la membrana de la yema, conocida mejor como porción media de la albúmina gruesa, su medición y valores se relacionan con las unidades Haugh en la frescura del huevo, sobre todo en zonas en donde se lo consume crudo, los huevos que presentan valores altos en mm pueden ser almacenados por mucho más tiempo debido a su frescura (Martínez, 2020).

La albúmina se somete naturalmente a un proceso de degradación, desde el mismo instante de la ovoposición, este proceso es la consecuencia del incremento del pH, uno de sus resultados es la degradación sobre la unión de las proteínas conocidas como ovomucina y lisozima, visualmente este proceso provoca que el albumen se vea más fluido, diversas investigaciones han resaltado que un valor bajo en calidad de albúmina se presenta con una edad avanzada en las aves y también se relaciona enfermedades como por ejemplo la bronquitis infecciosa o Newcastle (Martínez, 2020).

## **Cáscara**

La cáscara es la única estructura que se encuentra mineralizada y además su peso representa aproximadamente el 9.3% del peso del huevo, comercialmente huevos con grietas, manchas o defectos claramente visibles se presentan como el resultado de un mal proceso de calcificación, por lo tanto, su valor comercial disminuye (Martín, 2019c).

Desde otro punto de vista la formación de la cáscara consta de dos fases, la primera que es la inorgánica en donde el elemento principal es el carbonato de calcio, y la segunda la fase orgánica en donde se presentan azúcares, lípidos y proteínas con un porcentaje de 2%, 3% y 95% respectivamente (Rodríguez, 2019)

El calcio que contiene la cáscara es proporcionado por la circulación sanguínea, para huevos de gallinas ponedoras de alto rendimiento se registra aproximadamente de 1.7 a 2.4 gramos de calcio, en porcentaje esto corresponde a un rango que va desde el 8 al 10% del peso total de Ca que presenta todo el organismo (Martín, 2019c).

## **Alteraciones en la cáscara**

Los defectos más notorios se presentan como roturas o perforaciones en la misma, que muchas veces provocan la salida del contenido interno o a su vez el ingreso de microorganismos bacterianos, provocando una contaminación inminente, la fragilidad de la cáscara depende de los niveles nutricionales y de ciertas enfermedades que se presentan como bronquitis infecciosa la cual se manifiesta con huevos blanquecinos de cáscara muy frágil (Soler & Bueso, 2017).

### ***Roturas finas***

Se presentan como roturas finas que se encuentran a lo largo de la superficie de la cáscara formando pequeñas redes, la visibilidad de este tipo de defectos se determina cuando el huevo envejece más, cuando son huevos frescos estos deben pasar por un proceso de luz

para poder identificarlos, se presentan generalmente por la edad avanzada de las aves, bronquitis infecciosa en un nivel bajo, mala calidad de agua, nutrición deficiente, poco cuidado en la recolección de huevos, el nivel estable de la presencia de este tipo de roturas es del 1 al 3% en referencia a la producción total (Soler & Bueso, 2017).

### ***Roturas en estrella***

A partir de un punto central se despliegan pequeños hilos formando grietas que conforme con la mala manipulación del huevo pueden generar roturas grandes sobre toda la superficie, se considera que en la producción total se puede mantener un porcentaje del 1 al 2%, una de las principales causas es la poca recolección de huevos, ya que las aves pueden picotear o pisar el huevo y el mal manejo a la hora de la recolección (Soler & Bueso, 2017).

### ***Huevos con cáscara fina y en farfana***

Su aspecto se asimila a un ligero arrugamiento por los costados, son bastante susceptibles a golpes, en el galpón se puede tener una incidencia del 0.5% hasta el 6%, este tipo de anomalía se presenta más en pollitas precoces, a este tipo de huevos se le atribuye una bronquitis infecciosa junto con una caída de puesta además de un bajo nivel nutricional y calidad de agua, también se considera la inmadurez del útero o un defecto de este por alguna enfermedad propia del sistema reproductor o mal manejo del animal en otras actividades como tomar el peso y la más común es la puesta del huevo antes de que se complete el proceso de calcificación (Soler & Bueso, 2017).

### ***Cáscara áspera o rugosa***

Se presentan como rugosidades en toda la cáscara, su incidencia tiene que ser menor al 1% en la producción total, su presencia generalmente se da a una bronquitis infecciosa, laringotraqueitis o encefalomiелitis aviar, además a esto se suma perturbaciones en el lote lo que provoca que la gallina no pueda poner el huevo y lo retenga durante un periodo extendido

que puede llegar a ser un día completo, cortes repentinos de agua durante un largo tiempo y cambios bruscos del programa de luz (Soler & Bueso, 2017).

### ***Huevos deformes***

Son huevos más largos o redondos, en esta clasificación también se consideran huevos con estrías demasiado notorias o huevos con arrugas sobrepuestas, se considera que en el galpón hay un 2% de presencia de estos huevos, generalmente por pollitas que pasan por una doble ovulación, además de úteros inmaduros o defectuosos, por alta densidad de animales o incluso por un estrés extremo que provoque alboroto y miedo en las aves (Soler & Bueso, 2017).

### ***Huevos con cáscara aplanada***

En esta clasificación se encuentran huevos que presentan ciertas partes aplanadas, en este caso también se visualiza ciertas líneas arrugadas a su alrededor, la incidencia es del 1% en la producción total, las causas son similares a los huevos deformes, incluyéndose en este caso cambios bruscos de iluminación (Soler & Bueso, 2017).

### ***Huevos estriados***

Se presentan surcos o arrugas que se direccionan más hacia la punta, generalmente forman anillos, su principal causa es un factor de estrés cuando la gallina se encuentra formando el huevo y por periodos extendidos de luminosidad, su porcentaje aumenta conforme la edad del ave avanza, por lo tanto, el porcentaje de incidencia de un ave joven 1% a la edad de 35 semanas y a la edad de 60% se puede presentar con el 9% (Soler & Bueso, 2017).

### ***Huevos con cáscara granulosa***

Se visualiza la presencia de pequeñas protuberancias que es material clasificado que se depositó sobre la cáscara, dependiendo de la concentración que estas tengan pueden ser retiradas sin causar daño a la cáscara, mientras que otras provocan rupturas, su incidencia es

del 1% y también se le atribuye la edad de las aves y una nutrición deficiente (Soler & Bueso, 2017).

### ***Huevos con cáscara agujereada***

La incidencia es del 0,5%, son pequeñas roturas que se encuentran provocadas por la fragilidad de la cáscara relacionada con la edad de las aves y la nutrición deficiente (Soler & Bueso, 2017).

### ***Huevos con cáscara moteada***

Este tipo de defecto es más visible mediante un proceso de luz, ya que se refleja el nivel de daño, sobre todo si a esto se le acompaña la fragilidad de la cáscara, presenta un aspecto vítreo, se origina debido al retraso del secado de la cáscara luego de la puesta por parte del ave, si a esta situación se le suma la humedad de la nave se presenta rupturas más visibles llegando a perder el huevo (Soler & Bueso, 2017).

### ***Huevos sucios***

Las sustancias por las que el huevo puede mancharse regularmente son sangre o heces, las manchas de sangre se presentan generalmente con pollitas jóvenes, en casos más extremos se da por el prolapso de la cloaca, mientras que la contaminación fecal es por la acumulación de heces en el piso de la jaula (Soler & Bueso, 2017).

### **Digital Egg Tester Det 6000**

Es un analizador automático de medición digital para parámetros de calidad de huevos, consta de una impresora, bandeja de recepción transparente, calibre de espesor de cascarón y una pantalla que registra cada uno de los parámetros dispuestos, los ítems medibles son Unidad Haugh, índice de yema, peso de huevo, fuerza o resistencia del cascarón, color de yema y espesor de cascarón (NABEL, 2022).

## **Requerimientos nutricionales para gallinas ponedoras Lohmann Brown**

Lohmann Brown es una línea genética de gallinas ponedoras que al igual que otros animales de alta gama de producción basa su alimentación en el propósito, en este caso se destaca también la edad del animal conocida mayormente como fase, ya que esta se encuentra directamente relacionada con el porcentaje de producción de huevos y las necesidades de calcio, debido a que en las tres fases que el animal cumple no necesitan la misma cantidad de minerales, aminoácidos o materias primas las dietas se modifican con la finalidad de mantener los parámetros productivos y la salud del animal (Secci et al., 2018).

El aspecto nutricional de las aves se relaciona con el peso del huevo, los cambios de ingredientes que se dan en las dietas, sea en cantidad, calidad o reemplazo de estos generan repercusiones en la calidad y masa del huevo, el peso del huevo puede entrar en un plan de manejo que adopte la granja en relación con las necesidades que tiene como por ejemplo si se desea tener huevos de menor peso se ajustarán las raciones reduciendo la cantidad y si el objetivo de la granja es tener pesos mayores se aumentará las raciones (Lohmann Breeders, 2021).

El resultado del aumento de raciones en gallinas es un incremento en el peso del ave y su estructura esquelética, pero este tiene una contraparte debido a que si se llega a engrasar el aparato reproductor estas se encontrarán en un punto peligroso debido a que no lograrán poner huevos, otro escenario es la poca uniformidad previa en el galón antes de adaptar esta estrategia, en donde no solo se encontrarán gallinas muy gordas sino también gallinas muy delgadas que igualmente no podrán alcanzar el parámetro productivo individual (Lohmann Breeders, 2021).

### **Alimentación en fase 1**

El periodo de postura inicia a partir del 5% de producción que se ubica en la semana 19, fase 1 de producción empieza alrededor de la semana 21 y termina en la semana 44 en donde

se determina los requerimientos diarios de masa del huevo que debe encontrarse en un punto máximo de 59,8 gramos / ave, donde también se relaciona la cantidad de calcio que se incluye a la dieta (Lohmann Breeders, 2021).

**Tabla 7**

*Recomendación en fase 1 para Kg de alimento en diferentes consumos diarios*

Nutriente		Requerimientos g/ave/día	Consumo diario de alimentos (g)			
			105	110	115	120
Proteína	%	18,50	17,60	16,80	16,10	15,40
Calcio	%	4,10	3,90	3,73	3,57	3,42
Fósforo	%	0,60	0,57	0,55	0,52	0,50
Fósforo disp	%	0,42	0,40	0,38	0,37	0,35
Sodio	%	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15
Cloro	%	,018	0,17	0,16	0,16	0,15
Lisina	%	0,97	0,92	0,88	0,84	0,80
Lisina dig	%	0,82	0,78	0,74	0,71	0,68
Metionina	%	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40
Metionian dig	%	0,41	0,39	0,37	0,36	0,34
Met/Cistina	%	0,87	0,83	0,79	0,76	0,72
M/C dig	%	0,74	0,70	0,67	0,64	0,61
Arginina	%	1,00	0,96	0,91	0,87	0,84
Arginina dig	%	0,85	0,81	0,77	0,74	0,71
Valina	%	0,84	0,80	0,77	0,73	0,70
Valina dig	%	0,72	0,68	0,65	0,62	0,60
Triptófano	%	0,21	0,20	0,19	0,18	0,18
Tript+ofano dig	%	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15
Ácido linoleico	%	2,00	1,90	1,82	1,74	1,67
Treonina	%	0,68	0,64	0,61	0,59	0,56
Treonina dig	%	0,57	0,55	0,52	0,50	0,48
Isoleucina	%	0,77	0,74	0,70	0,67	0,64
Isoleucina dig	%	0,66	0,62	0,60	0,57	0,55
Ácido linoleico	%	2,00	1,90	1,82	1,74	1,67

*Nota.* Recuperado de Lohmann Breeders. Copyright 2021 por Lohmann Breeders.

Reprinted with permission

### **Phosfit 300**

*Phosfit 300* es un producto comercial, siendo reconocido como una fitasa el cual actúa con un proceso satisfactorio de la liberación del fósforo que se encuentra presente en el ácido fítico, de esta manera logra cumplir con dos objetivos importantes, el primero mejorar la flora intestinal de los animales y el segundo disminuir los efectos anti nutricionales por parte del fitato (Nutrion, 2022).

La dosis recomendada se encuentra alrededor de los 5 a 10 kilogramos por 1 tonelada de alimento balanceado, pero esta recomendación cuenta con dos restricciones, siendo la primera un uso hasta los 10 kilogramos si es la única fuente fitasa en el alimento balanceado, caso contrario, se recomienda añadir el producto hasta completar los 2400 FTU/Kg de alimento, su uso mayormente se da en aves en pollos de engorde y especies menores, porcinas, bovinas (Nutrion, 2022).

### **Tabla 8**

#### *Composición Phosfit 300*

<b>Elemento</b>	<b>Unidad</b>
Fitasa	300 U
<i>Clostridium butyricum</i>	1X10 <sup>5</sup> UFC
Ácido cítrico	1 mg
Cantaxantina	0.001 mg
Vehículo: fuente de fósforo solubilizada c.s.p	1 g

*Nota.* Recuperado de Nutrion. Copyright 2022 por

Nutrion. Reprinted with permission

### **Uso de enzimas en dietas de ponedoras**

Químicamente, las enzimas son proteínas que se clasifican de manera general en endógenas y exógenas, ambas presentan un sitio específico y activo que tiene un determinado sustrato hidrolizado, lo cual permite el acoplamiento de la enzima en su posición específica

denominándose una acción catalítica, estas proteínas no son organismos vivos, sino que se representan como el producto de otros organismos como lo son las levaduras, bacterias, mohos y demás (Yépez, 2022).

El uso de las enzimas exógenas implica procesamientos previos para su utilización, ya que se tiene que reconocer a aquellas enzimas que pueden soportar altas temperaturas, concentraciones, cambios de pH y ambientes adversos que se encuentran en las diferentes fases para la preparación del alimento balanceado además de que también se considera el estado intestinal del animal, puesto que habrá sustancias que desdoblan ciertas enzimas y por ende se pierde totalmente el aspecto de mejora (Yépez, 2022).

Se conoce a las enzimas como compuestos proteicos los cuales presentan diversas funciones dentro del organismo de estos animales, su primera función se encuentra en lograr catalizar ciertas reacciones biológicas para que se produzca un aumento en la velocidad de todas las reacciones químicas, este proceso se da a nivel de intestinos, además de ello el uso de estas enzimas en las dietas ayuda a reducir los costos de producción de los piensos y hay un aprovechamiento de nutrientes y elementos que se encuentran como limitantes para el animal evitando los procesos anti nutricionales (Fontinelli, 2018).

Las dietas comunes de las aves de corral tienen en gran mayoría ingredientes que son de origen vegetal y que se encuentran constituidos por factores anti nutricionales tales como los fitatos, inhibidores de enzimas endógenas, por lo cual estas resultan ser limitantes para la producción y salud del animal (Camacho et al., 2018).

### **Metabolismo calcio y fósforo**

Varios estudios han considerado que las gallinas ponedoras presentan de manera eficiente un mecanismo del manejo metabólico de dos elementos importantes que van

estrechamente relacionados, siendo estos el calcio y el fósforo, su trabajo en conjunto participa en varias funciones fisiológicas (Días, 2018).

### **Calcio**

Se encuentra en un 99% dentro del animal, constando principalmente en la formación ósea, el restante se encuentre en tejidos blandos, en el huevo se encuentra como carbonato de calcio en un 94%. Dentro de otras funciones metabólicas, también participa en la coagulación de la sangre, ganancia de peso y utilización de alimentos, secreción de hormonas, entre otros (Días, 2018).

El metabolismo del calcio se encuentra regulado por la cantidad de fósforo que está disponible en la dieta, también participa la hormona paratiroidea, la cual cumple la función de mantener en equilibrio el calcio que se encuentra de manera iónica en el plasma, activa los procesos de depósito de calcio en los huesos y también hay el control de la salida de calcio y fósforo por la orina (Días, 2018).

La reducción de calcio a nivel de suero activa una serie de procesos en donde se incluye la participación de la hormona paratiroidea la cual moviliza el calcio de los huesos hacia la sangre por la estimulación de la biosíntesis 1.25-dihidroxicalciferol que a su vez genera mayor absorción del calcio en el intestino (Días, 2018).

Luego de este proceso se da la producción de calcitonina la cual es la encargada de disminuir la actividad de la hormona paratiroidea y de la vitamina D que actúan en conjunto, dando como resultado un equilibrio en la movilización del calcio por la parte ósea y la absorción de este en el intestino (Días, 2018).

Bajos niveles de calcio provocan un nivel de postura anormal, susceptibilidad a hemorragias, producción baja con cáscaras delgadas y frágiles, mortalidad alta, raquitismo, osteoporosis, tasa alta de metabolismo basal (Días, 2018).

## **Fósforo**

Este elemento se encuentra distribuido en todo el cuerpo del ave, pero el 80% se establece en el esqueleto, tiene una función importante en los compuestos orgánicos que están relacionados con todo el proceso metabólico, se presenta en el músculo, en el metabolismo energético y tejidos nerviosos, es parte de los ácidos nucleicos, enzimas y coenzimas, participa activamente en el almacenamiento y transporte de energía como ADP y ATP que son compuestos de alta energía (Días, 2018).

Debido a la relación del Ca y P, la eliminación de este último elemento no solo dependerá de los niveles de ingesta y los que son enviados a la formación del huevo, sino que también dependerá de los niveles de Ca que se encuentran en la dieta y que a su vez dependen del requerimiento nutricional del ave (Días, 2018).

Si hay bajos niveles de alguno de estos dos minerales la disponibilidad del otro inmediatamente se encuentra afectada, pero si ambos elementos sobrepasan sus límites interfieren de manera negativa en la absorción de otros nutrientes como por ejemplo el magnesio, provocando una deficiencia en el ave (Días, 2018).

### **Fósforo en la alimentación animal**

#### ***Fuentes alternas de fósforo***

Es bien conocido que las principales fuentes de fósforo para la nutrición de las aves se encuentran en los vegetales, la disponibilidad de este es muy variada y depende mucho del fósforo total (fitatos) por lo tanto, se hace el uso de mezclas en el balanceado (Osorio, 2021).

**Tabla 9**

Contenido de P total - fítico en alimentos vegetales

Cereales/oleaginosas y subproductos	P total %	P fítico %	P fítico % P total	Actividad fitásica U/Kg
Trigo	0.33	0.18	55	1565
Maíz	0.25	0.17	73	24
Arroz	0.12	0.08	65	112
Sorgo	0.26	0.17	66	24
Afrecho de trigo	0.92	0.63	69	928
Germen/afrecho de maíz	0.66	0.42	64	41
Germen y afrecho de maíz	1.21	0.78	65	56
Pulitura de arroz	1.57	1.13	72	134
Semilla de algodón	0.64	0.49	77	51
Harina de soya	0.57	0.37	65	62
Harina de algodón	1.34	0.84	63	36
Harina de Palmiste	0.51	0.29	57	34
Harina de coco	0.43	0.24	56	37
Levadura de cervecería	1.22	0.30	24	39

*Nota.* Recuperado de Osorio. Copyright 2021 por Osorio. Reprinted with permission

### Requerimientos de calcio y fósforo en gallinas ponedoras

El fósforo es uno de elementos más costosos en las dietas de gallinas ponedoras, además de que se considera como un elemento crítico siendo representando con el 70% para la formación de los huesos de las gallinas, participa también en la transferencia de energía de las células y se encuentra regulando el pH de la sangre, este elemento se encuentra en grandes cantidades en productos de origen vegetal que se encuentran ligados a fitatos que dentro del organismo del animal producen un efecto atrapante de minerales debido a que se forman quelatos que pueden reaccionar con las proteínas y generando poca disponibilidad, de esta manera no pueden ser absorbidos por los intestinos y son eliminados por las heces (Dilelis et al., 2020).

Su actividad se requiere en el proceso de tejidos blandos, tejido esquelético y fluidos del cuerpo, a pesar de que ambos elementos funciona de manera unida cada uno presenta

acciones importantes de manera individual como por el ejemplo el calcio (Ca) que se encuentra en la transmisión de los impulsos nerviosos y el fósforo (P) que se encuentra estrechamente relacionado con la transferencia de energía y procesos metabólicos, en función conjunta estos dos elementos son necesarios para la formación de la cáscara del huevo, diversos estudios experimentales indican que el contenido de Ca es de 2 gramos mientras que el de P se mantiene en alrededor de 0.12 gramos (Guevara, 2019).

## **Fitasas**

### **Características generales de la fitasa**

Estos elementos corresponden a un grupo diferenciado de enzimas conocidas como fosfatasas alcalinas, ácidas de alto o bajo peso molecular y fosfatasas proteínicas, su actividad se encuentra ligada directamente a los fitatos en solución, realizando un proceso de hidrolización para un determinado pH y temperatura, se producen generalmente mediante el cultivo de bacterias y algunos hongos, pero también se han encontrado en granos (Coloma, 2019).

Las fitasas endógenas son conocidas como fosfatasas intestinales, las cuales cumplen la función de hidrolizar las moléculas de inositol, en aves de producción el uso de estas enzimas trabajan directamente sobre el efecto del fósforo y su digestión, pero estudios actuales concluyen que este puede ayudar a mucho más allá de la liberación del fósforo dentro del organismo del animal (Castro et al., 2019).

### **Tipos de fitasas**

El criterio de clasificación es amplio, pero se toma en cuenta tres parámetros importantes, siendo el primero el pH, en segundo lugar, la posición del carbono del anillo inositol en su estructura química y por último y el más utilizado, su origen que puede ser animal vegetal o de origen microbiano que se obtienen por medio de hongos, algunas bacterias y levaduras (Villaroel, 2018).

En la primera clasificación se tiene dos subgrupos, el primero con un pH alcalino y el segundo con un rango ácido, en cuanto a la posición se tiene tres subgrupos el primero con 3 - fitasa, luego sigue 6- fitasa y por último 5- fitada (Villaroel, 2018).

La actividad de la fitasa se mide en unidades fitasa las cuales se definen como la cantidad de fitasa que libera 1  $\mu\text{mol}$  de fosfato inorgánico a partir de una disolución 1 mM de fitato de sodio por minuto a un pH y temperatura específico de 5.5 y 37° C, De esta manera la actividad fitásica tiene diferentes rangos de valor en los cereales (Villaroel, 2018).

El rango de temperatura de fitasas está entre los 60 °C a 70 °C, de esta manera presentan una actividad en general elevada resaltándose como un mínimo de 5000 FTU/g a un valor de pH óptimo de 2 y 5.5, aunque existen variaciones según el microorganismo del cuál procedan (Zhai et al., 2022).

El empleo de fitasas de origen exógeno es la estrategia más importante, ya que en este caso se logra conseguir un proceso de degradación completa del ácido fítico durante el procesamiento del alimento, y de este modo se logra incrementar la disponibilidad mineral (Jing et al., 2021).

Es importante conocer las condiciones óptimas que indican la actividad de la fitasa seleccionada, estas se encuentran estrechamente relacionadas con el tipo de cereal con el que se está trabajando. El pH óptimo de la actividad fitasa que presentan la mayoría que son procedentes de cereales se encuentra entre 4.5-5.6, al contrario de las que son procedentes de leguminosas, ya que estas presentan un pH óptimo en valores de 7 o superiores (Habibollahi et al., 2019).

### **Fitasa en aves ponedoras**

Una de las técnicas que ha usado la industria avícola por años en dietas bajas de fósforo ha sido el suplemento de fuentes inorgánicas de alta disponibilidad, lo que genera un alto potencial contaminante por la pérdida excesiva de este elemento en las heces debido a que en ellas se encuentra el fósforo inorgánico incluido en la dieta y el fósforo fítico (Ren et al., 2020).

La deficiencia ósea es otro factor problemático en el campo avícola en la producción de huevos, ya que una mala alimentación, calidad de materias o formulación permiten que el calcio que pertenece al sistema óseo migre a la formación de cáscara y el animal se entre en un estado desfavorable de salud generando osteoporosis, el implemento de fitasas en dietas para gallinas ponedoras le permite la asimilación del calcio y fósforo en su mayoría evitando la mortalidad de los animales a temprana edad (Guevara, 2019).

## Capítulo III

### Materiales y metodología de la investigación

#### Ubicación y características del área de estudio

La presente investigación se realizó en las instalaciones del proyecto de avicultura ubicado en la facultad de la Carrera de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias IASA-1, Hacienda El Prado, que se encuentra ubicada en la parroquia San Fernando, perteneciente al cantón Rumiñahui provincia de Pichincha.

#### Ubicación geográfica

Presenta una altura de 2748 msnm, con una latitud de: 0° 23' 20" sur y una longitud de 78° 24' 44" oeste, la temperatura general del lugar es representada con 7 °C como mínima y con 28 °C como máxima, el promedio se encuentra en 20 °C (Jaramillo, 2018).

#### Figura 1

*Hacienda "El Prado", taller de Avicultura*



*Nota. Ubicación del proyecto de investigación donde se desarrolló la fase de campo. Tomado de Google Maps, 2020.*

## **Ubicación ecológica**

Por la ubicación que presenta sobre el nivel del mar su piso altitudinal se determina como montano alto, la facultad al contar una propia estación meteorológica logra determinar de mejor manera su heliófila, teniendo un promedio de 3,24 horas/día, con una velocidad de viento de 2,55 m/s, la humedad relativa determinada es de 65,22%, una temperatura promedio de 15 °C y sus precipitaciones son de 11166 mm/año.

## **Materiales de campo**

### **Insumos**

- 800 gallinas ponedoras Lohmann Brown Classic de 19 semanas de edad
- Carro transportador de balanceado
- Cubetas de huevos
- Carro transportador de huevos
- Alimento balanceado
- Jaulas de 565 cm<sup>2</sup>/ave (54 cm x 55 cm)
- Envases dosificadores de alimentación
- Libreta de campo
- Cámara fotográfica
- Memoria extraíble
- Manuales de información sobre la línea genética

### **Equipo de laboratorio**

- Analizador DIGITAL EGG TESTER DET-6000
- Computadora
- Mandil de laboratorio
- Fundas plásticas 8x12 cm
- Balanza analítica

- Vaso de precipitación de 2000 ml
- Agua destilada

## **Métodos**

### **Tratamientos experimentales**

En el presente experimento, la fase de campo se realizó en el taller de avicultura, sus instalaciones se encuentran en la facultad de Ingeniería Agropecuaria IASA 1, la línea genética usada fue gallinas ponedoras de huevo marrón Lohmann Brown Clasicc con una edad de 26 semanas encontrándose en el periodo de postura fase 1.

Las aves fueron dispuestas bajo un diseño completamente al azar, ubicadas en jaulas de pisos suspendidos, mismas que contaron con un espacio físico de  $565 \text{ cm}^2/\text{ave}$ , con un entorno idéntico para cada uno de los tratamientos. Con esto se establecieron 2 tratamientos en donde se incluye el testigo con 5 repeticiones cada uno y un tamaño de unidad experimental de 16 jaulas, conteniendo 5 aves por jaula (80 aves por repetición).

La toma de datos se efectuó diariamente en registros previamente establecidos, la tabulación de datos se realizó en forma semanal tanto en parámetros zootécnicos como para análisis de calidad con una muestra de 30 huevos por tratamiento, esto con la ayuda del analizador DIGITAL EGG TESTER DET – 6000, equipo que nos permitió la valoración de parámetros de calidad.

### **Formulación de dietas**

Con el empleo del software NUTRION.11 se realizaron la modulación y formulación de diferentes dietas, mismas que fueron iso proteicas, iso energéticas e iso fosfóricas, cumpliendo los requerimientos nutricionales exigidos por las aves para el periodo de tiempo que corresponde a fase 1. Con el manejo de la alimentación se procedió previamente con una fase de adaptación por un lapso de 7 días al nuevo alimento a ser empleado en cada uno de los

tratamientos. El alimento se elaboró en la planta de alimentos concentrados de la carrera de Ingeniería agropecuaria.

**Tabla 10**

*Dosis en dietas experimentales*

Dietas experimentales	Elemento	Inclusión	Dosis
Tratamiento (T1)	<i>Phosfit 300</i>	100%	3.655 kg/Ton
Testigo (T0)	Fosfato mono cálcico 21/17	100%	4.793 kg/Ton

*Nota.* Dosis en dietas experimentales

**Tabla 11**

*Composición nutricional de las dietas suplementadas a las aves bajo tratamientos*

Nutrientes	Aporte nutritivo/ dieta	
	T0	T1
E.M Aves MC	2.850	2.850
Sodio %	0.153	0.184
Potasio %	0.631	0.652
Proteína total %	16.245	16.245
Fósforo total %	0.320	0.320
Calcio %	3.800	3.980
<b>Aminoácidos (% de dieta)</b>		
Lisina Digestible	0.756	0.756
Metionina Digestible	0.524	0.512
Met + Cis Digestible	0.750	0.749
Triptófano Digestible	0.180	0.178
Treonina Digestible	0.600	0.582
Arginina Digestible	0.942	0.970
Valina Digestible	0.703	0.703

*Nota.* Autoría propia.

### Suministro del alimento

Se trabajó con un total de 800 aves, 400 fueron seleccionadas para el tratamiento con *Phosfit 300*, mientras que las restantes 400 constituyó en tratamiento testigo con una dieta estándar en la que la fuente de fósforo fue fosfato mono cálcico (21% P), el alimento fue

suministrado en horas de la mañana (07H00) en una cantidad de 120 gramos/ave/día el periodo de prueba fue desde la semana 21 hasta la semana 42 que es el tiempo que dura la fase 1. El consumo de agua fue ad libitum. Los análisis de calidad se tomaron en forma semanal durante las 21 semanas que dura la fase de producción 1.

### **Recopilación de datos**

Para los parámetros de producción que se efectuó a nivel de galpón, se tomó la información de todas las variables productivas como son: Producción diaria de huevos, clasificación de los mismos (alteraciones visibles), consumo de alimento, agua, mortalidad, etc. mientras que los análisis de calidad fueron obtenidos de manera semanal durante todo el periodo que dura la fase 1.

Los análisis de calidad fueron realizados a nivel de laboratorio en el que se empleó el DIGITAL EGG TESTER DET-6000, equipo que proporciona mediciones de: peso, altura de la albúmina (mm), coloración de yema, Unidades Haugh, dureza de cascarón (Kg), grosor de cáscara (mm) y una categorización de calidad que va en un rango de AA, A, B y C.

Para la última variable que fue una prueba de conservación en el tiempo o de duración en percha, misma que se realizó con muestras de conformadas por 5 cubetas por tratamiento, a las que en forma semanal se fue midiendo los parámetros de calidad y determinando la variación de los mismos, esta valoración duró 5 semanas en un ambiente similar de humedad y temperatura.

### **Diseño experimental**

El experimento se realizó con un diseño completamente al azar (DCA), con 5 repeticiones por tratamiento.

$$Y_{ijk} = \mu + D_i + e_{ij}$$

Donde

$Y_{ij}$ = calidad de huevo

$U$ = media general

$D_i$ = efecto de la  $i$ -ésima dieta

$E_{ij}$ = error experimental

**Tabla 12**

*Esquema del experimento a emplearse*

Dietas experimentales	Código	Repeticiones (Número de jaulas)	Número de aves por repetición	Aves totales por tratamiento
Fosfato mono cálcico 21/17	T0	5	80	400
Phosfit 300	T1	5	80	400
Total, de aves en el experimento				800

*Nota.* distribución del experimento

### Croquis del diseño

**Figura 2**

*Croquis experimental*

T1R2	T0R3	T1R1	T0R4	T1R5
T0R1	T1R4	T0R2	T1R3	T0R5

Jaulas

*Nota.* El gráfico representa la distribución de los tratamientos y repeticiones de manera aleatoria dentro del galpón.

### Análisis estadístico

Se realizó una prueba de significancia según el modelo prueba de Tukey a un nivel de  $\alpha=0.05$ , con un 95% de confiabilidad. Los resultados obtenidos fueron procesados con el Software Infostat, en donde se realizaron las siguientes pruebas estadísticas:

### **Mediciones experimentales**

Todas las variables zootécnicas fueron registradas diariamente en todo el periodo que dura la fase 1 (21 semanas) las cuales fueron:

- Mortalidad
- Conversión alimenticia
- % de postura
- Peso de las aves (Kg)
- Producción por tratamiento
- Huevos rotos
- Huevos con defecto
- Huevos sucios

Igualmente, para las variables de Calidad de huevo se procedió en forma semanal a la determinación de sus componentes de calidad, los mismos que fueron:

- Peso del huevo (g)
- Coloración de yema
- Altura de albúmina (mm)
- Unidades Haugh
- Dureza de cáscara (Kg)
- Grosor de cáscara (mm)
- Categoría (AA, A, B, C)

### **Evaluación de parámetros zootécnicos**

La recopilación de datos para las variables de mortalidad y viabilidad fueron diarias, empezando con la observación y seguimiento a los animales que presentaban un grado de fatiga o debilidad.

La fórmula para el porcentaje de mortalidad es la siguiente:

$$\text{Mortalidad acumulada} = \frac{\text{Total de aves muertas}}{\text{Número de aves iniciales}} \times 100$$

La conversión alimenticia presenta los kilogramos de alimento que requiere la gallina para lograr un kilogramo de producto que en este caso es el huevo, tomando en cuenta los registros de producción semanal se presenta la siguiente fórmula:

$$\text{Conversión alimenticia} = \frac{\text{Total semanal del alimento consumido en Kg o gr}}{\text{Peso total de huevos semanal en Kg o gr}}$$

El porcentaje de postura nos ayuda a determinar si el lote está cumpliendo con los objetivos de producción que establece la línea genética, para este caso se requiere la cantidad de huevos totales por semana y el número de animales iniciales:

$$\% \text{ postura semanal} = \frac{\text{cantidad total de huevos}}{\text{cantidad de aves} * 7} * 100$$

Para la variable de consumo de alimento se pesó el alimento sobrante del día siguiente y mediante una diferencia se obtuvo este dato.

El peso de las aves fue registrado semanalmente durante un periodo de 10 semanas, esto con la ayuda de una balanza electrónica, estos datos se registraron en kilogramos.

Para producción de huevos se tomó el conteo diario de la producción tanto por tarde el tratamiento como por el testigo, llenando los registros diarios y semanales.

### **Análisis económico**

Con la información de un análisis de costos fijos y costos variables se logró realizar un análisis de presupuesto parcial entre el uso de una fuente de fosfato orgánico con una fuente común, todo esto mediante el indicador de beneficio / costo, el cual toma en consideración los egresos y los ingresos totales correspondientes a la venta del producto.

## Capítulo IV

### Resultados y discusión

#### Mortalidad

Durante el periodo de experimentación no se presentó mortalidad en ninguno de los tratamientos. De igual manera Pongmanee et al., (2020), registra cero porcentajes de mortalidad en su estudio, donde trabajo con un total de cuatrocientas noventa gallinas ponedoras Hyline W36 (Pongmanee et al., 2020).

#### Conversión alimenticia

Para la variable de conversión alimenticia, no se presentó diferencia significativa, pero si se evidenció diferencia numérica entre los tratamientos, resultados que son concordantes con el manual de trabajo para Lohmann Brown Classic, el cual determina el rango de conversión alimenticia entre 2.0 a 2.2 kg, dichos resultados dependen de varios factores que influyen en el comportamiento del animal, como por ejemplo la elaboración del alimento en disponibilidad materias primas, tamaño, disponibilidad en comederos, temperatura del alojamiento, ventilación.

#### Tabla 13

*Conversión alimenticia para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown fase 1*

Tratamiento	Código	Medias	D.E	p-valor 0.05%
Fosfato mono cálcico	T0	2.46	0.27	A
Phosfit 300	T1	2.38	0.28	A

*Nota.* Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0.05$ )

D.E: Desviación estándar

#### Porcentaje de postura

Para el porcentaje de postura no se evidenció diferencia significativa, resultados que son concordantes con un estudio realizado por Pongmanee et al., (2020), el cual trabajó con

cuatrocientas noventa gallinas ponedoras Hyline W36, en el cual evaluaron la inclusión de una fitasa en dietas bajas de P disponible y Ca total, no obtuvieron diferencia significativa en el parámetro de producción, estas aves fueron evaluadas durante las semanas 46 y 74 de edad (Pongmanee et al., 2020).

#### Tabla 14

*Porcentaje de postura para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante el período de fase 1*

Tratamiento	Código	Medias	D.E	p-valor 0.05%
Fosfato mono cálcico	T0	65.58	6.95	A
Phosfit 300	T1	69.15	6.07	A

*Nota.* Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0.05$ )

#### Peso de las aves (Kg)

Para la variable de peso de las aves no se registró diferencia significativa, Fernández et al 2018, concluye en su estudio, en el que tampoco evidenció diferencia significativa que, la ganancia de peso en aves con dietas que cumplen con los requerimientos nutricionales adecuados a la edad y línea genética, es determinada por el consumo del ave, horas luz, factores de estrés, calidad de agua, temperatura (Pongmanee et al., 2020).

#### Tabla 15

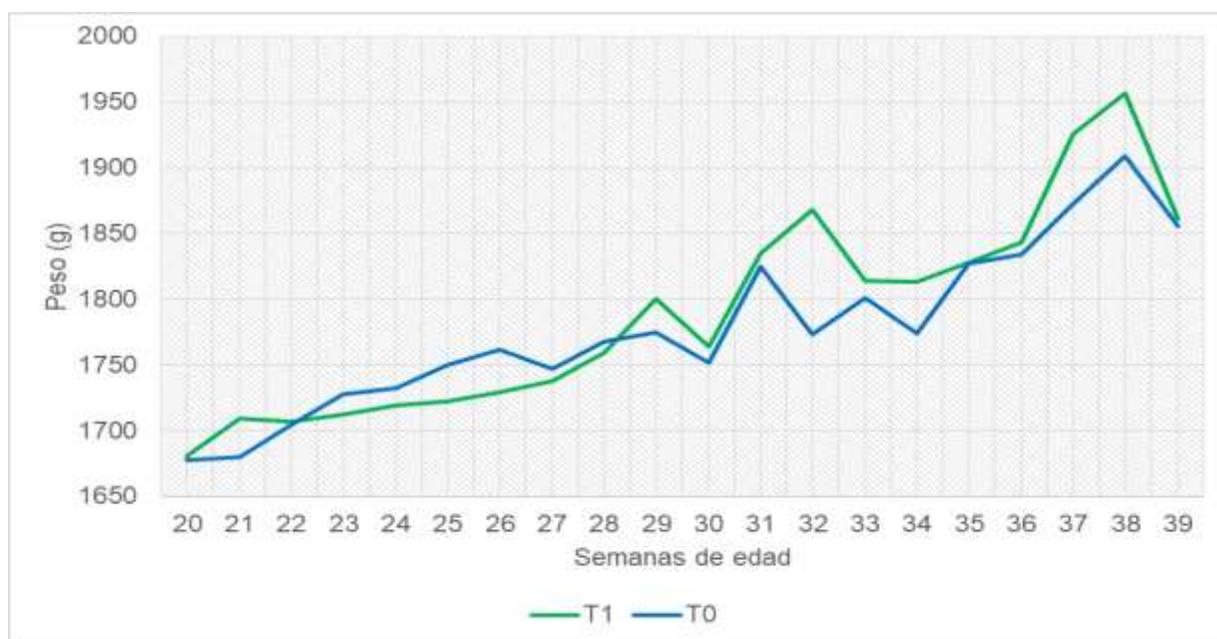
*Peso de las aves en kg para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante fase 1*

Tratamiento	Código	Medias	D.E	p-valor 0.05%
Fosfato mono Cálcico	T0	1.81	0.07	A
Phosfit 300	T1	1.82	0.05	A

*Nota.* Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0.05$ )

**Figura 3**

*Incremento de peso semanal para cada tratamiento durante fase 1*



*Nota.* El gráfico representa el peso ganado en las aves durante un periodo de experimentación

### **Producción por tratamiento**

Para la variable de producción de huevos, no se encontró diferencia significativa, pero sí una diferencia numérica, en donde T1 presentó 100 huevos más que el T0. Un estudio realizado por Villaroel, (2018) en la provincia de Cotopaxi con 200 gallinas ponedoras Lohmann Brown, en donde hubo dos controles de dietas, uno positivo y uno negativo con la adición de 600FYT de fitasa y 1800FYT por kilo en dietas bajas de P y Ca, tampoco se encontró diferencia significativa en la producción, pero sí una diferencia numérica en donde el tratamiento positivo obtuvo 20 huevos más que el testigo, obteniendo valores de producción promedio de 237.3 huevos por control (Villaroel, 2018).

**Tabla 16**

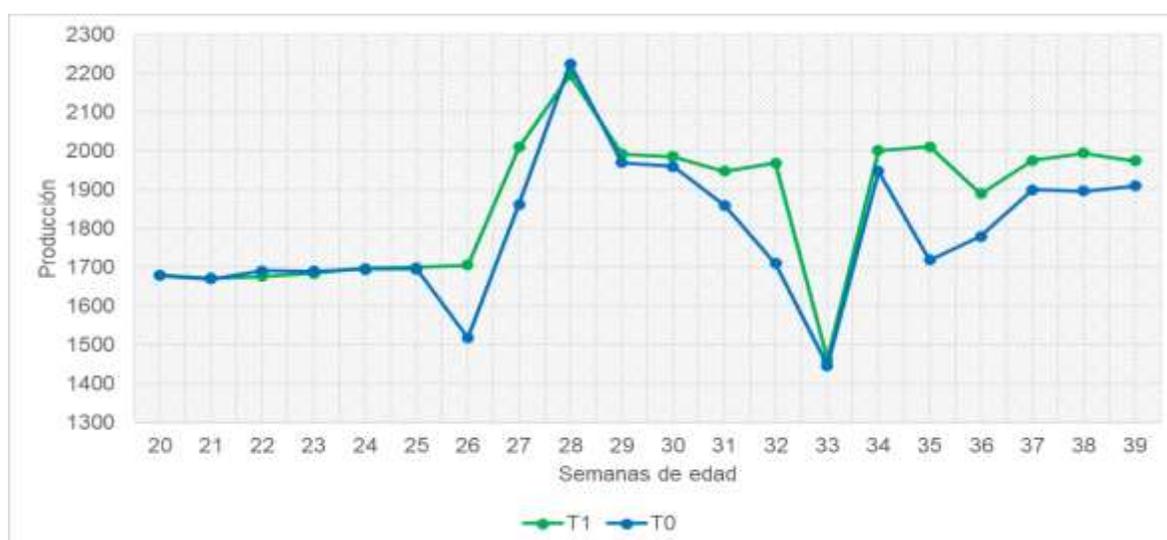
*Producción para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante fase 1*

Tratamiento	Código	Medias	D.E	p-valor 0.05
Fosfato mono cálcico	T0	1835.93	195.11	A
Phosfit 300	T1	1936.36	169.97	A

*Nota.* Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0.05$ )

**Figura 4**

*Producción de huevos en los diferentes tratamientos durante fase 1*



*Nota.* El gráfico representa la producción semanal donde se observa los incrementos y los descensos en cada uno de los tratamientos.

Como se observa en la figura 4, en la semana 33 se presenta una caída en producción para ambos tratamientos, teniendo una producción de 1462 para el T1 y 1447 para el T0, esto debido a la carencia de ciertas materias primas como harina de soya, Osmeq y aceite de palma, luego se evidencia la recuperación progresiva en las semanas siguientes.

### Peso del huevo (g)

Para la variable de peso del huevo determinada por el analizador DET-6000, no se encontró diferencia significativa. El peso del huevo es una variable que hasta cierto punto puede ser modificada, generalmente con el ajuste de las raciones, la cantidad de grasa que se añade a las dietas, e incluso si las instalaciones avícolas constan con la tecnología pertinente se puede dar manejo adecuado de la temperatura, la cual influirá en el animal para el consumo del alimento, pero sobre todo esta variable se relaciona directamente con el peso del ave, ya que un ave con un peso corporal y estructura esquelética mayor dará como resultado pesos altos durante el periodo de producción (Pongmanee et al., 2020).

El peso del huevo en el ambiente comercial influye mucho en la categoría a la que debe pertenecer, la norma INEN, (2013) (Tabla 3) determina que huevos con pesos de 64 a 70 gramos son clasificados como extra grandes, en el mercado actual cubetas con huevos que tengan este peso promedio unitario son comercializados con un valor entre los 3.20 a 3.30 \$.

### Tabla 17

*Peso del huevo (g) para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante fase 1*

Tratamiento	Código	Medias	D.E	p-valor 0.05%
Fosfato mono cálcico	T0	63.89	4.73	A
<i>Phosfit 300</i>	T1	64.29	5.28	A

*Nota:* Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0.05$ )

### Coloración de yema

Para la variable de color de yema determinada por el analizador DET-6000, no se encontró diferencia significativa. Maguregui, (2020) explica que el color de yema depende de un factor importante, siendo el porcentaje de xantofilas y carotenoides proporcionados en el

alimento, si a diferentes se les proporciona las mismas materias primas, el contenido de xantofilas y carotenoides no tendrían ningún tipo de variación (Maguregui, 2020).

**Tabla 18**

*Coloración de yema para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante fase 1*

Tratamiento	Código	Medias	D.E	p-valor 0.05%
Fosfato mono cálcico	T0	8.10	0.89	A
<i>Phosfit 300</i>	T1	8.17	0.88	A

*Nota.* Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0.05$ )

### Altura de albúmina (mm)

Para la variable de altura de albúmina se encontró diferencia significativa (0,05%), en donde T1 presentó mayor altura 9.26 (mm) en comparación a T0.

Resultados similares se presentaron en el trabajo de De la Cruz, (2021), donde se alimentaron a gallinas Lohmann Brown de 31 semanas de edad con dietas tratamiento que contenían 500 FTU/kg de fitasa, donde lograron obtener diferencia significativa para parámetros de calidad interna como altura de albúmina, posiblemente este resultado se produjo mediante la mejora en el proceso de digestibilidad de proteínas o aminoácidos de la dieta por el mayor proceso de hidrólisis del fitato. (De la Cruz, 2021).

**Tabla 19**

*Altura de albúmina (mm) para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante fase 1*

Tratamiento	Código	Medias	D.E	p-valor 0.05%
Fosfato mono cálcico	T0	8.92	1.58	A
<i>Phosfit 300</i>	T1	9.26	1.57	B

*Nota.* Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0.05$ )

## Unidades Haugh

Para la variable de Unidades Haugh, determinada por el analizador DET-600 se obtuvo diferencia significativa (0.05), en donde, T1 presentó una media mayor en comparación a T0.

En un estudio realizado por Camacho & Rubio (2021) determinó que hubo diferencia significativa en parámetros calidad interna, donde los autores resaltaron los resultados en la variable de Unidades Haugh, debido a que sobrepasaran el parámetro convencional que fue registrado un año antes del experimento (Camacho & Rubio, 2021).

Para este estudio se tomaron en cuenta 140 gallinas correspondientes a la línea genética Lohmann Brown de 61 semanas de edad en donde las dietas tratamiento contenían 1.300 FTU/kg de fitasa considerándose una super dosis, con relación a una dieta de control negativo (Camacho & Rubio, 2021).

Las Unidades Haugh son medidas de calidad proteica del huevo basada en la altura de la albúmina y en el peso del huevo, considerando esto, se determina que *Phosfit 300* presenta un proceso de rompimiento molecular sobre las materias primas que le permite mejorar el proceso de liberación de proteínas y ciertos minerales.

### Tabla 20

*Unidades Haugh para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante fase 1*

Tratamiento	Código	Medias	D.E	p-valor 0.05
Fosfato mono cálcico	T0	92.59	9.38	A
<i>Phosfit 300</i>	T1	94.32	8.89	B

*Nota.* Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0.05$ )

### Dureza de cáscara (kgf)

Para la variable de dureza de cáscara (kgf) no se encontró diferencia significativa. A pesar de que la cáscara está compuesta en su mayoría por carbonato de calcio, el fósforo juega también un papel importante sobre todo en el metabolismo Ca y P, si el nivel de calcio es insuficiente para el proceso de clasificación de cáscara se moviliza este elemento desde el hueso medular, siempre y cuando se encuentre unido al fósforo circulante, la calidad y dureza de la cáscara puede verse afectada por los niveles irregulares de fósforo en las dietas de las aves, debido a que no podría darse correctamente el proceso de liberación de calcio del hueso y el proceso de mineralización de la cáscara (Oliviera et al., 2021).

### Tabla 21

*Dureza de cáscara (Kgf) para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante fase 1*

Tratamiento	Código	Medias	D.E	p-valor 0.05
Fosfato mono cálcico	T0	5.36	1.09	A
<i>Phosfit 300</i>	T1	5.25	1.20	A

*Nota.* Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0.05$ )

### Grosor de cáscara (mm)

Para la variable de grosor de cáscara (mm) no se encontró diferencia significativa.

El grosor de cáscara y la resistencia son parámetros de calidad externa del huevo que van estrechamente relacionados, esta característica puede ser influenciada por la inclusión de aditivos a dietas bajas en ciertos minerales, el tener un grosor y una resistencia adecuada ayuda a evitar rupturas menores en el momento de la recolección, transporte y comercialización de los huevos, ya que tras una ruptura evidente en la cáscara se producirá la contaminación con agentes infecciosos (Castro et al., 2019).

**Tabla 22**

*Grosor de cáscara (mm) para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante fase 1*

Tratamiento	Código	Medias	D.E	p-valor 0.05
Fosfato mono cálcico	T0	0.38	0.03	A
<i>Phosfit 300</i>	T1	0.38	0.03	A

*Nota.* Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0.05$ )

### **Categoría (AA, A, B, C)**

Los análisis realizados en la máquina DIGITAL EGG TESTER DET-6000 determinan un valor categórico para la clasificación de calidad de huevo.

Existen tres categorías de calidad de huevo para el consumidor, en donde AA son huevos que presentan los grados más altos de frescura, claras firmes y espesas, yemas redondas y se encuentra casi siempre libres de defectos, las cáscaras son fuertes y libres de impurezas, huevos con categoría A tienen claras un poco fluidas, esto puede ser debido al tiempo de almacenamiento, edad del ave, características de la dieta, aspecto sanitario, pero en su mayoría presenta características similares a AA, indicando al comprador que son huevos que pueden ser consumidos de manera inmediata, huevos de categoría B presentan claras fluidas, yemas con aspecto más plano, imperfecciones en la cáscara como manchas, roturas o grietas, este tipo de huevos son usados directamente para crear subproductos (ASKUSDA, 2020).

### **Análisis de almacenamiento**

#### **Peso del huevo (g)**

Para la variable del peso del huevo no se obtuvo diferencia significativa. En un estudio realizado Santos et al., (2019), determinan que el peso del huevo está estrechamente relacionado al peso y edad de la gallina, por lo tanto, en su estudio de almacenamiento no se

encuentra diferencia significativa relacionada al tiempo, temperatura ni humedad relativa (Santos et al., 2019).

### Tabla 23

*Peso del huevo (g) para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante 5 semanas de evaluación*

Tratamiento	Código	Medias	D.E	p-valor 0.05%
Fosfato mono cálcico	T1	59.73	3.76	A
<i>Phosfit 300</i>	T0	59.49	4.05	A

*Nota.* Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0.05$ )

### Coloración de yema

Para la variable de color de yema, registrada por el analizador DET-600, no se encontró diferencia significativa. El color de yema no presenta variación con el tiempo de almacenamiento, debido a que el color se relaciona con la cantidad de carotenoides y xantofilas encontradas en las materias primas, resultados similares se obtuvieron en estudios de almacenamiento realizados por (Santos et al., 2019).

### Tabla 24

*Coloración de yema para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante 5 semanas de evaluación*

Tratamiento	Código	Medias	D.E	p-valor 0.05
Fosfato mono cálcico	T0	7.65	0.73	A
<i>Phosfit 300</i>	T1	7.49	0.90	A

*Nota.* Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0.05$ )

### Altura de albúmina (mm)

La variable de altura de la albúmina (mm), registrada por el analizador DET-600, presentó diferencia significativa. Un estudio realizado por Martínez, (2020), donde obtuvo diferencia significativa en sus resultados, indica que en el proceso de degradación de la albúmina unos de los factores a tomar en consideración es el tiempo de almacenamiento, temperatura, pH y pérdida de CO<sub>2</sub>, a mayor pérdida CO<sub>2</sub> mayor es el valor de pH, por lo tanto, empieza el proceso de degradación de las proteínas ovomucina y lisozima y la calidad disminuye (Martínez, 2020).

Por lo tanto, la fitasa con la que trabaja el tratamiento T1, permite que la degradación de proteínas contenidas en la albúmina sea menor en relación al tiempo, permitiendo así que la disminución de su altura sea menos progresiva que un huevo de una gallina alimentada con una fuente inorgánica de fosforo.

### Tabla 25

*Altura de albúmina (mm) para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante 5 semanas de evaluación*

Tratamiento	Código	Medias	D.E	p-valor 0.05
Fosfato mono cálcico	T0	4.61	1.19	A
<i>Phosfit 300</i>	T1	4.99	1.75	B

*Nota.* Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0.05$ )

### Unidades Haugh

Para la variable de Unidades Haugh, se encontró diferencia significativa (0.05). De igual manera en el estudio realizado por Martínez, (2020), obtuvo diferencia significativa en sus resultados, debido a que los resultados Unidades Haugh se encuentran relacionadas con el valor de albúmina (Martínez, 2020).

En el parámetro de frescura intervienen dos puntos importantes que son la altura de albúmina que está directamente relacionada con Unidades Haugh, el pH incrementa con el paso del tiempo, generando un proceso lento de oxidación interna que da como resultado una menor altura de albúmina que directamente dará valores inferiores de Unidades Haugh, la normativa INEN,( 2013) indica que los valores menores a 70 representan huevos no aptos para su comercialización debido a dos puntos de vista importantes, el primero siendo la pérdida registrada de proteínas, y el segundo el crecimiento de bacterias que son de riesgo para la salud del ser humano (Tabla 5).

**Tabla 26**

*Unidades Haugh para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante 5 semanas de experimento*

Tratamiento	Código	Medias	D.E	p-valor 0.05
Fosfato mono cálcico	T0	63.69	11.69	A
<i>Phosfit 300</i>	T1	66.61	13.89	B

*Nota.* Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0.05$ )

### **Dureza de cáscara (kgf)**

Para la variable de dureza de cáscara (kgf), no se presentó diferencia significativa. Santos et al., (2019), en su estudio obtuvieron resultados similares, en donde el tiempo de almacenamiento correspondió a un intervalo de 3 semanas, en donde los huevos fueron colocados a temperatura ambiente sin ninguna capa protectora (Santos et al., 2019).

El tiempo de almacenamiento en condiciones ideales no interviene en la degradación de la dureza de la cáscara, a pesar de que en esta formación intervienen tanto el Ca como el P, este parámetro está determinado con el nivel de inclusión en la dieta de estos elementos que

van directamente relacionados con los requerimientos nutricionales en función de la edad y fase de postura.

Factores que intervienen en la reducción de dureza de cáscara externa al tiempo de almacenamiento pueden ser una nutrición decadente, temperaturas altas, edad avanzada de las gallinas, mala calidad de agua, enfermedades como por ejemplo bronquitis infecciosa (Tabla 6), (INEN, 2013).

### **Tabla 27**

*Dureza de cáscara (kgf) para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante 5 semanas de evaluación*

<b>Tratamiento</b>	<b>Código</b>	<b>Medias</b>	<b>D.E</b>	<b>p-valor 0.05</b>
Fosfato mono cálcico	T0	5.43	1.00	A
Phosfit 30	T1	5.31	1.09	A

*Nota.* Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0.05$ )

### **Grosor de cáscara (mm)**

Para la variable de grosor de cáscara (mm) no se encontró diferencia significativa, Santos et al., (2019), aseguran que al ser un parámetro que se relaciona con la dureza, no iban a evidenciar diferencia significativa en el proceso (Santos et al., 2019).

El fósforo al igual que el calcio es un elemento importante para la formación de cáscara, un exceso de este elemento en el proceso de formación puede contribuir a una degradación de sólidos de la misma, presentando huevos con cáscaras frágiles, y con un nivel bajo de espesor (INEN, 2013).

**Tabla 28**

Grosor de cáscara (mm) para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante 5 semanas de evaluación

Tratamiento	Código	Medias	D.E	p-valor 0.05
Fosfato mono cálcico	T0	0.39	0.04	A
<i>Phosfit 300</i>	T1	0.38	0.04	A

*Nota.* Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Tukey ( $p > 0.05$ )

### Categoría (AA, A, B, C)

Los análisis realizados con la máquina DIGITAL EGG TESTER DET-6000 determinan un valor categórico para la clasificación de calidad de huevo.

La categorización de calidad de huevo mediante el uso de letras indica que huevos son aptos para el consumo humano y cuáles son requeridos para la realización de sub productos por la pérdida importante de proteínas, ya sea en yema o clara.

**Tabla 29**

Calidad (AA, A, B, C) para cada tratamiento en gallinas Lohmann Brown durante 5 semanas de evaluación

Semanas	<i>Phosfit 300</i>			Fosfato mono cálcico		
	AA	A	B	AA	A	B
1	21	7	2	19	10	1
2	12	11	7	10	10	1
3	11	12	8	4	15	11
4	9	14	7	6	7	17
5	0	5	25	0	3	27
<b>Promedio</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>11</b>

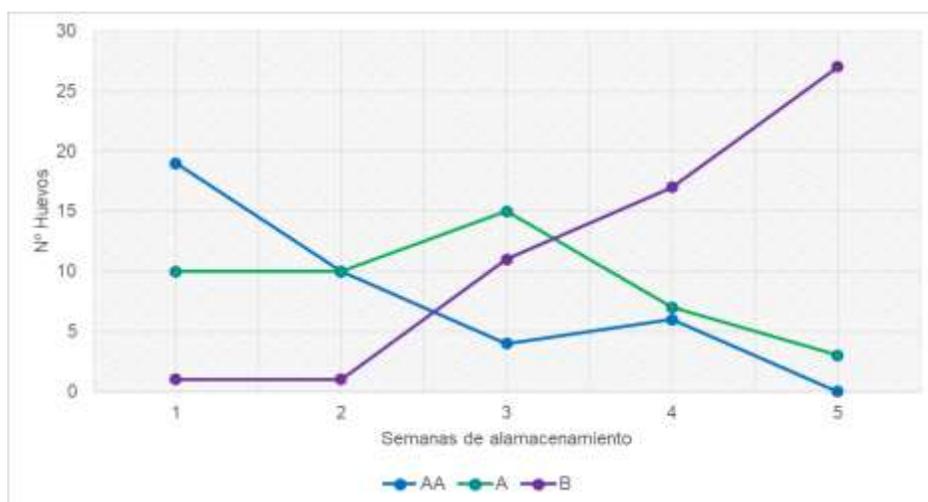
*Nota.* promedio general para conteo de categoría en análisis de calidad de huevo

Al final del periodo de evaluación se puede observar que ambos tratamientos presentan similares dantos en la presencia de huevos de categoría B con el paso de las semanas, esto

está relacionado con dos parámetros importantes, siendo altura de albúmina y Unidades Haugh que son determinantes para la frescura del huevo, en este caso ambos parámetros fueron más altos para el T1 que para el T0, por lo tanto, se evidencia que en T0 hubo una degradación proteica mayor.

### Figura 5

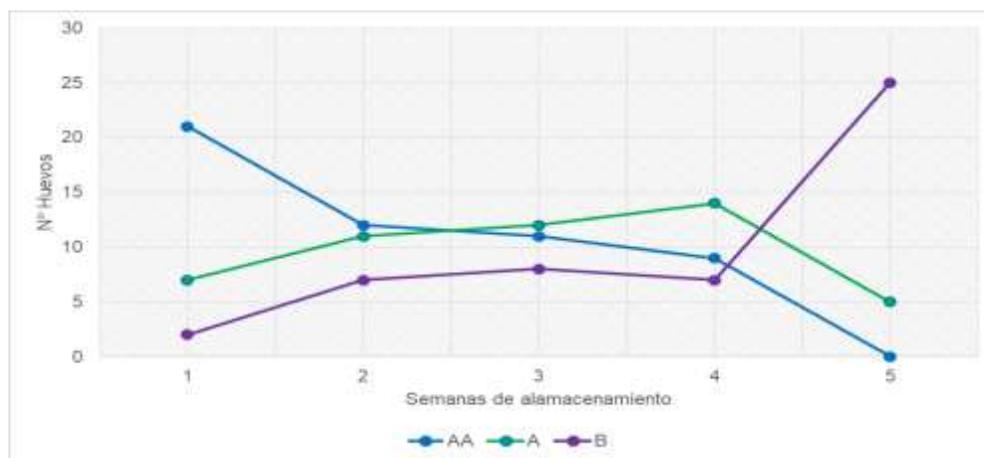
*Ranking de calidad de huevos en almacenamiento para T0*



*Nota.* Niveles de categoría determinados por Norma INEN 1973-2013

### Figura 6

*Ranking de calidad de huevos en almacenamiento para T1*



*Nota.* Niveles de categoría determinados por Norma INEN 1973-2013

Para la figura 5 y 6, se observa el decrecimiento en la categoría de calidad de huevo durante las 5 semanas, donde, para ambos tratamientos, en la semana 3 se observa el cambio radical.

En el tratamiento T1 se puede observar que hay 11 huevos catalogados como AA, mientras que para el tratamiento T0 apenas hay 4 huevos en dicha categoría, dichos están relacionados con los resultados de análisis de calidad, sobre todo en la variable de altura de albúmina y Unidad Haugh, ya que para ambas variables se determinó que T1 tuvo mejor rendimiento de almacenamiento.

### **Análisis de espectrometría (SEM-EDS)**

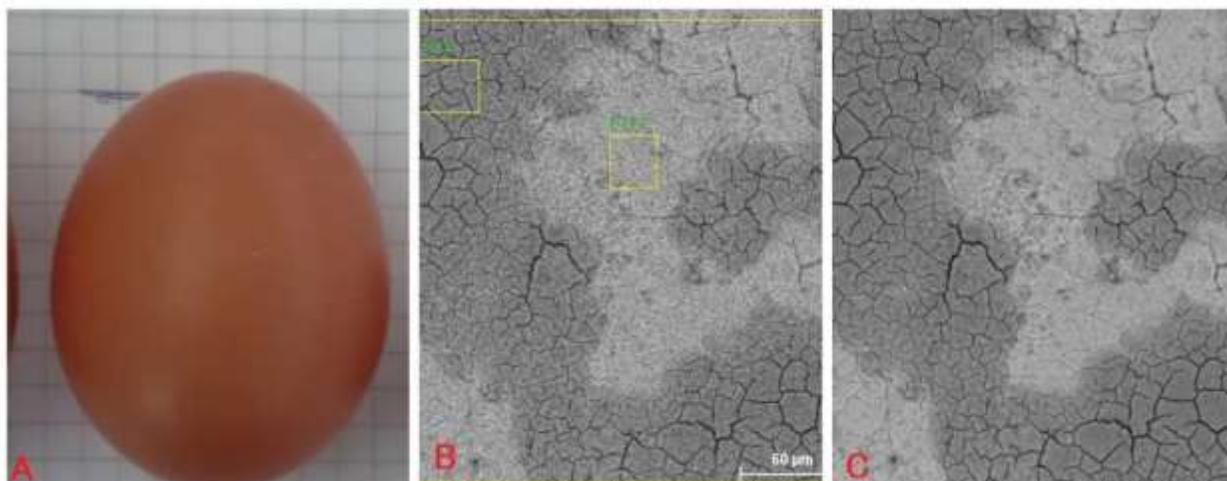
El análisis SEM-EDS permite caracterizar la composición de manera microscópica de varias muestras, presentando resultados cuantitativos y cualitativos (Aparicio, 2022)

El sistema EDS presenta resultados cuantificados, ya que identifica el porcentaje de peso de cada elemento en la muestra y mediante la imagen localiza los rangos sobresalientes de cada elemento, mientras que el sistema SEM presenta resultados cualitativos con la ayuda de un haz de electrones que se refleja en la superficie de la muestra (Aparicio, 2022).

Para el siguiente análisis, se eligieron huevos por tratamiento de manera al azar, evitando escoger aquellas muestras con irregularidades superficiales en la cáscara, además de que estas muestras debían cumplir con los siguientes requisitos: uniformidad en color, peso y textura (Aparicio, 2022).

**Figura 7**

*Espectrometría realizada en cáscara de tratamiento Phosfit 300*

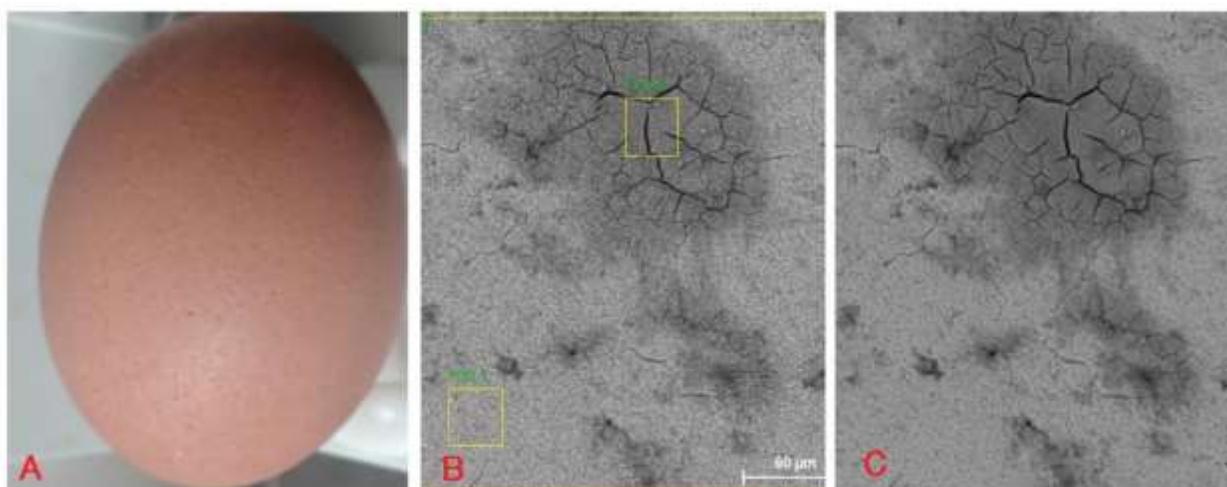


*Nota.* (A) vista parte externa, (B) análisis EDS 60 µm, (C) análisis SEM 100 µm

En el literal B se encuentra registrado el espectro P11-1, P11-2, P11-3 a 60 µm; mientras que en el literal C se encuentra la vista de la muestra correspondiente al análisis SEN a 200 µm.

**Figura 8**

*Espectrometría realizada en cáscara de tratamiento fosfato mono cálcico*



*Nota.* (A) vista parte externa, (B) análisis EDS 60 µm, (C) análisis SEM 100 µm

En el literal B se encuentra registrado el espectro T01-1, T01-2, T01-3 a 60  $\mu\text{m}$ ; en el literal C se encuentra la vista de la muestra correspondiente al análisis SEN a 200  $\mu\text{m}$ .

Los resultados presentados en las figuras 7 y 8, fueron obtenidos mediante el SEM Tescan Mira 3, el cual está equipado con un emisor de campo Schottky. La prueba EDS se realizó en la cámara del SEM usando un detector Bruker, X-Flash 6/30 con una resolución de 123 eV a Mn K $\alpha$ .

**Tabla 30**

*Análisis de espectrometría SEM-EDS en las los tratamientos experimentales*

Tratamientos	Elemento (masa porcentaje)									
	C	N	O	Na	Mg	P	S	Cl	K	Ca
T0	20.18	4.14	46.40	0.11	0.60	1.76	0.09	0.12	0.32	26.24
T1	17.81	5.02	45.40	0.15	1.46	2.07	0.10	0.23	0.41	27.30
<b>Diferencia</b>	<b>2.37</b>	<b>-0.88</b>	<b>1</b>	<b>-0.04</b>	<b>-0.86</b>	<b>-0.31</b>	<b>-0.01</b>	<b>-0.11</b>	<b>-0.09</b>	<b>-1.06</b>

*Nota.* Porcentaje de masa de dos elementos esenciales en cáscara de huevo

Mediante al análisis cuantitativo de espectrometría EDS se puede observar que el fósforo se encuentra en mayor porcentaje en el T1, con relación a T0, esto indica que la inclusión de *Phosfit 300* en dietas para gallinas ponedoras permite la mejor disponibilidad de fósforo que es extraído de las materias primas.

### **Análisis económico**

Para el análisis económico se dividieron todos los valores para cada mes y así poder observar la evolución mensual, el análisis económico va hasta el tercer mes de que duró el experimento.

**Tabla 31**

*Análisis económico de los tratamientos evaluados para el primer mes*

<b>Parámetros</b>	<b>Testigo</b>	<b><i>Phosfit 300</i></b>
	<b>T0</b>	<b>T1</b>
Aves	400	400
Producción de huevos	7575	7902
Huevos rotos	53	57
<b>Egresos</b>		
Costo del alimento	19.11	17.61
Galponero	400	400
<b>Suma</b>	<b>419.11</b>	<b>417.61</b>
<b>Ingresos</b>		
Venta de huevos	757.5	790.2
Venta de huevos rotos	2.65	2.85
Gallinaza	80	80
<b>Suma</b>	<b>840.15</b>	<b>873.05</b>
<b>Beneficio costo</b>	<b>2.00</b>	<b>2.09</b>

*Nota.* Un proyecto con beneficio/costo menor a 1 es rechazado

Como se observa en la tabla 33, cada uno de los tratamientos presenta valores de beneficio/ costos superiores a 1, por lo tanto, ambos proyectos se aceptan en el primer porque por cada valor invertido se obtiene la devolución del mismo dólar más 1.00 y 1.09 para T0 y T1 respectivamente, teniendo mayor ganancia el tratamiento con la inclusión de *Phosfit 300*.

**Tabla 32**

*Análisis económico de los tratamientos evaluados para el segundo mes*

<b>Parámetros</b>	<b>Testigo T0</b>	<b>Phosfit 300 T1</b>
Aves	400	400
Producción de huevos	6976	7362
Huevos rotos	41	41
<b>Egresos</b>		
Costo del alimento	19.11	17.61
Galponero	400	400
<b>Suma</b>	<b>419.11</b>	<b>417.61</b>
<b>Ingresos</b>		
Venta de huevos	697.6	736.2
Venta de huevos rotos	2.05	2.05
Gallinaza	80	80
<b>Suma</b>	<b>779.65</b>	<b>818.25</b>
<b>Beneficio costo</b>	<b>1.86</b>	<b>1.96</b>

*Nota.* Un proyecto con beneficio/costo menor a 1 es rechazado

Como se observa en la tabla 34, cada uno de los tratamientos presenta valores de beneficio/ costos superiores a 1, por lo tanto, ambos proyectos se aceptan en el segundo mes, por cada valor invertido se obtiene la devolución de 0.86 y 0.96 para T0 y T1 respectivamente, teniendo mayor ganancia el tratamiento con la inclusión de *Phosfit 300*.

**Tabla 33**

*Análisis económico de los tratamientos evaluados para el tercer mes*

<b>Parámetros</b>	<b>Testigo</b>	<b>Phosfit 300</b>
	<b>T0</b>	<b>T1</b>
Aves	400	400
Producción de huevos	7346	7877
Huevos rotos	40	31
<b>Egresos</b>		
Costo del alimento	19.11	17.61
Galponero	400	400
<b>Suma</b>	<b>419.11</b>	<b>417.61</b>
<b>Ingresos</b>		
Venta de huevos	734.6	787.7
Venta de huevos rotos	2	1.55
Gallinaza	80	80
<b>Suma</b>	<b>816.6</b>	<b>869.25</b>
<b>Beneficio costo</b>	<b>1.95</b>	<b>2.08</b>

*Nota.* Un proyecto con beneficio/costo menor a 1 es rechazado

Como se observa en la tabla 35, cada uno de los tratamientos presenta valores de beneficio/ costos superiores a 1, por lo tanto, ambos proyectos se aceptan en el tercer mes, por cada valor invertido se obtiene la devolución de 0.95 y 1.08 para T0 y T1 respectivamente, teniendo mayor ganancia el tratamiento con la inclusión de *Phosfit 300*.

**Tabla 34**

*Análisis económico de los tratamientos evaluados para el cuarto mes*

Parámetros	Testigo	<i>Phosfit 300</i>
	T0	T1
Aves	400	400
Producción de huevos	3806	3968
Huevos rotos	28	31
<b>Egresos</b>		
Costo del alimento	19.11	17.61
Galponero	400	400
<b>Suma</b>	<b>419.11</b>	<b>417.61</b>
<b>Ingresos</b>		
Venta de huevos	380.6	396.8
Venta de huevos rotos	21	21
Gallinaza	80	80
<b>Suma</b>	<b>481.6</b>	<b>497.8</b>
<b>Beneficio costo</b>	<b>1.15</b>	<b>1.19</b>

*Nota.* Un proyecto con beneficio costo menor a 1 es rechazado

Como se observa en la tabla 36, cada uno de los tratamientos presenta valores de beneficio/ costos superiores a 1, por lo tanto, ambos proyectos se aceptan en el cuarto mes, por cada valor invertido se obtiene la devolución de 0.15 y 0.19 para T0 y T1 respectivamente, teniendo mayor ganancia el tratamiento con la inclusión de *Phosfit 300*.

## Capítulo V

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- A través de la prueba estadística de Tukey al 95%, solo se registró diferencia significativa en altura de la albúmina y Unidades Haugh, por lo que se acepta la hipótesis alterna donde menciona que la inclusión de la enzima *Phosfit 300* como alternativa a fuentes de fósforo inorgánico en dieta de gallinas ponedoras en fase 1 presenta un efecto significativo sobre dos parámetros de calidad de huevo.
- A pesar de que no se obtuvo diferencia significativa en el parámetro de producción, matemáticamente se observa que el tratamiento con inclusión de una enzima *Phosfit 300* tuvo una mayor producción de huevos en relación con el testigo absoluto, de igual manera en el parámetro de conservación alimenticia no se encontró diferencia significativa, pero la media determinada para el tratamiento con *Phosfit 300* se acerca más a lo que determina la normativa para la línea genética.
- Para el análisis de huevos en percha, la diferencia significativa se presenta en altura de albúmina, Unidades Haugh, en donde se evidencia el efecto del tiempo y temperatura del almacenamiento para cada uno de los tratamientos, dando como mejor resultado la dieta con inclusión de *Phosfit 300* para la conservación y frescura de huevos.
- El análisis de espectrometría muestra que *Phosfit 300* extrae de mejor manera el fósforo contenido en el ácido fítico de las materias primas.
- Respecto al análisis económico realizado en un periodo de cuatro meses, se observó que, desde el primer mes hasta el cuarto mes de evaluación, ambos proyectos son viables, ya que su beneficio/costo son mayores a 1, pero el tratamiento que recibió mejores ganancias fue con *Phosfit 300*.

## Recomendaciones

- Se recomienda el uso de *Phosfit 300* en dietas de gallinas ponedoras Lohmann Brown, desde el período de pre postura, ya que, los resultados demuestran que matemáticamente hay aumento en su producción y sobre todo hay mejora en el parámetro de frescura de huevo considerando altura de albúmina y Unidades Haugh.
- Se recomienda realizar más experimentos en el ámbito de huevos en percha, debido a que los análisis realizados demuestran que *Phosfit 300* es una alternativa interesante en el almacenamiento y calidad interna de huevos.
- De igual manera, se recomienda realizar un seguimiento pertinente a la siguiente fase de postura, debido a que los requerimientos nutricionales para este periodo serán distintos, esto con la finalidad de determinar si *Phosfit 300* presenta alguna diferencia significativa en parámetros de producción o calidad de huevo.

## Bibliografía

- Aparicio, F. (2022). *SEM EDS, análisis de material interno | Componentes Electrónicos*. Alter, Technology. <https://wpo-altertechnology.com/es/sem-eds-analisis-de-material-interno/>
- ASKUSDA. (2020, April 16). *¿Cuáles son las categorías que se asignan a los huevos?* Department of Agriculture . <https://ask.usda.gov/s/article/Cu%C3%A1les-son-las-categor%C3%ADas-que-se-asignan-a-los-huevos>
- Camacho, D., Alexandre, G., Dantas Silva, Calvacante, T., Lima, R., & Perazzo, F. (2018, June 18). *Desempeño y calidad de huevos de gallinas alimentadas con dietas sin fosfato y suplementadas con fitasa y xilanasa*. Avicultura-Ergomix. <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/desempeno-calidad-huevos-gallinas-t42591.htm>
- Camacho, D., & Rubio, J. (2021, October). *Mejorando la calidad del huevo utilizando súper dosis de fitasa - BM Editores*. BM. <https://bmeditores.mx/avicultura/mejorando-la-calidad-del-huevo-utilizando-superdosis-de-fitasa/>
- Castro, W., Gonzáles, R., Guerrero, A., & Vargas, T. (2019). Evaluación de dos complejos enzimáticos (fitasa y celulasa) en la alimentación de pollos Broiler. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 4(8), 897–907. <https://doi.org/10.35381/r.k.v4i8.552>
- Coloma, X. (2019). *Efecto de la suplementación de fitasas y minerales quelatados en el desempeño productivo e indicadores de mineralización ósea en pollos de engorde* [Universidad Científica del Sur]. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1007/TL-Coloma%20X-Ext.pdf?sequence=8&isAllowed=y>

Cuéllar, J. (2021, December 13). *Alteraciones en la cáscara del huevo: causas y estrategias de prevención*. Veterinaria Digital. <https://www.veterinariadigital.com/articulos/alteraciones-en-la-cascara-del-huevo-causas-y-estrategias-de-prevencion/>

De la Cruz, A. (2021). *Efecto de la calidad de huevos de gallinas criollas (Gallus domesticus) a diferentes tiempos de conservación a temperatura ambiente en Santa Elena* [Universidad Estatal Península de Santa Elena].

<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6367/1/UPSE-TIA-2021-0069.pdf>

Días, G. (2018). *Manejo-del-calcio-el-fosforo-y-otras-estrategias-para-lograr-aves*.

<https://www.conave.org/wp-content/uploads/2018/11/Guillermo-Diaz-Manejo-del-calcio-el-fosforo-y-otras-estrategias-para-lograr-aves.pdf>

Dilelis, F., Souza, C. S., Reis, T. L., Vieites, F. M., & Lima, C. A. R. de. (2020). Digestible phosphorus of ingredients for poultry: methodologies and news. *Research, Society and Development*, 9(7), e915974543–e915974543. <https://doi.org/10.33448/RSD-V9I7.4543>

Fontinelli, E. (2018). *Uso-de-enzimas-para-ponedoras-modernas*. <https://lpncongress.com/wp-content/uploads/2018/10/uso-de-enzimas-para-ponedoras-modernas-dr-edson-fontinelli.pdf>

Guevara, H. (2019). Vista de Problemas de fijación de calcio y fosforo en gallinas ponedoras y pérdidas económicas a causa de perdidas productivas. *Zoociencia*, 1(1), 21–28.

<https://revistas.udca.edu.co/index.php/zoociencia/article/view/1318/1785>

Habibollahi, M., Abousadi, M. A., & Nakhaee, P. (2019). The Effect of Phytase on Production Performance, Egg Quality, Calcium and Phosphorus Excretion, and Fatty Acids and Cholesterol Concentration in Hy-Line Layers Fed Diets Containing Rice Bran. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(3), 688–698. <https://doi.org/10.3382/JAPR/PFZ020>

IASA - Google Maps. (2020). Google Maps. <https://www.google.com/maps/place/IASA/@-0.3854157,-78.4175019,19z/data=!4m1!1m12!4m11!1m3!2m2!1d-78.4164451!2d-0.3856101!1m6!1m2!1s0x91d5bbbd8644851b:0xc6c8b2bb6c026969!2sJH7M%2BPCX+IASA,+Sangolqu%C3%AD!2m2!1d-78.4164022!2d-0.3856423!3m4!1s0x91d5bbbd8644851b:0xc6c8b2bb6c026969!8m2!3d-0.3856423!4d-78.4164022>

INEN, 1973-2013. (2013). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1973:2013 Segunda revisión HUEVOS COMERCIALES Y OVOPRODUCTOS. REQUISITOS Primera edición*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.  
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1973-2.pdf>

Ionita, E. (2022, June 16). *Mejora de la calidad del huevo en Ecuador*. Veterinaria Digital.  
<https://www.veterinariadigital.com/noticias/mejora-de-la-calidad-del-huevo-en-ecuador/>

Jaramillo, S. (2018). *Datos Meteorológicos Estación: IASA 2008-2018 (2748 m.s.n.m.)*.

Jing, M., Zhao, S., Rogiewicz, A., Slominski, B. A., & House, J. D. (2021). Effects of phytase supplementation on production performance, egg and bone quality, plasma biochemistry and mineral excretion of layers fed varying levels of phosphorus. *Animal*, *15*(1), 100010.  
<https://doi.org/10.1016/J.ANIMAL.2020.100010>

Lohmann Breeders. (2021). *GUÍA DE MANEJO LOHMANN BROWN-CLASSIC PONEDORAS*.

Maguregui, E. (2020, May 4). *El color de la yema del huevo y los pigmentantes. La importancia del color*. Veterinaria Digital. <https://www.veterinariadigital.com/articulos/el-color-de-la-yema-del-huevo-y-los-pigmentantes/>

Malchow, J., Eusemann, B. K., Petow, S., Krause, E. T., & Schrader, L. (2022). Productive performance, perching behavior, keel bone and other health aspects in dual-purpose

compared to conventional laying hens. *Poultry Science*, 102095.

<https://doi.org/10.1016/J.PSJ.2022.102095>

Martín, N. (2019a, July 2). *Fisiología de la puesta de la gallina* .

<https://www.veterinariadigital.com/articulos/fisiologia-de-la-puesta-de-la-gallina/>

Martín, N. (2019b, July 10). *Calidad interna del huevo* . Veterinaria Digital.

<https://www.veterinariadigital.com/articulos/calidad-interna-del-huevo/>

Martín, N. (2019c, July 12). *Formación de la cáscara de huevo*. Veterinaria Digital.

<https://www.veterinariadigital.com/articulos/formacion-de-la-cascara-de-huevo/>

Martínez, J. (2020). *Valoración de la calidad del huevo comercial de gallinas Lohmann Brown,*

*en la granja avícola Cecilita, Cotaló Tungurahua* [Universidad de las Fuerzas Armadas

ESPE]. [http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/23144/T-ESPE-](http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/23144/T-ESPE-044076.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[044076.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/23144/T-ESPE-044076.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

NABEL. (2022). *Unidad haugh e indice de yema, indicadores medidos por la DET 6500.*

DIGITAL EGG TESTER. <https://digitaleggtester.com/es/egg-quality/>

Nutrion. (2022). *PHOSFIT 300*. Nutrion. <https://nutrion.ec/division-pecuaria/41-phosfit-300-.html>

Oliveira, V. R. M., Arruda, A. M. V., Melo, A. S., Souza, D. H., Souza-Junior, J. B. F.,

Fernandes, R. T. V., & Queiroz, J. P. A. F. (2019). Coarse corn particles cause a negative effect on eggshell quality of semi-heavy laying hens. *Animal Nutrition*, 5(4), 432–434.

<https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2019.03.002>

Oliviera, M., Bonilla, C., Olvera Myrna, Villar, G., & Casarín, A. (2021, March 22). *Factores que afectan la calidad de la cáscara del huevo para consumo humano*. Avicultura.MX.

<https://www.avicultura.mx/destacado/Factores-que-afectan-la-calidad-de-la-cascara-del-huevo-para-consumo-humano>

- Osorio, G. (2021). Cambios en la disponibilidad del fósforo fítico para aves y cerdos causados por la fitasa: una revisión [Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias]. In *Exploraciones, intercambios y relaciones entre el diseño y la tecnología*.  
<https://doi.org/10.16/CSS/JQUERY.DATATABLES.MIN.CSS>
- Paca, M. (2021). *El calcio y el fósforo en el comportamiento productivo de gallinas ponedoras comerciales* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15625/1/17T01653.pdf>
- Pongmanee, K., Kühn, I., & Korver, D. R. (2020). Effects of phytase supplementation on eggshell and bone quality, and phosphorus and calcium digestibility in laying hens from 25 to 37 wk of age. *Poultry Science*, 99(5), 2595–2607.  
<https://doi.org/10.1016/J.PSJ.2019.12.051>
- Ramos, C. (2019). *Identificación y caracterización de actinomicetos aislados del tracto digestivo de gallinas criollas* [Universidad Nacional Agraria La Molina].  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4144/ramos-lama-claudia-herlinda.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ren, Z., Sun, W., Cheng, X., Liu, Y., Han, D., Yan, J., Pan, C., Duan, Y., & Yang, X. (2020). The adaptability of Hy-Line Brown laying hens to low-phosphorus diets supplemented with phytase. *Poultry Science*, 99(7), 3525–3531. <https://doi.org/10.1016/J.PSJ.2020.03.033>
- Rodríguez, A. (2019, October). *Calidad de la cáscara del huevo, ¿qué factores afectan?* AviNews España. <https://avinews.com/calidad-de-la-cascara-del-huevo/?reload=yes>
- Rodríguez, C., Waxman, S., & de Lucas, J. (2017). FARMACIA VETERINARIA. *Farmacia Veterinaria*, 41(401), 223–234.  
[https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/160801/CONICET\\_Digital\\_Nro.4a6f1841-5a62-41d3-8d89-0c6341be2512\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/160801/CONICET_Digital_Nro.4a6f1841-5a62-41d3-8d89-0c6341be2512_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

- Santos, R., Segura, J., & Sarmiento, L. (2019). Calidad durante el almacenamiento de huevos de gallinas alimentadas con dietas con aceite de palma. *Revista MVZ Córdoba*, 24(3), 7297–7304. <https://doi.org/10.21897/RMVZ.1244>
- Secci, G., Bovera, F., Nizza, S., Baronti, N., Gasco, L., Conte, G., Serra, A., Bonelli, A., & Parisi, G. (2018). Quality of eggs from Lohmann Brown Classic laying hens fed black soldier fly meal as substitute for soya bean. *Animal*, 12(10), 2191–2197. <https://doi.org/10.1017/S1751731117003603>
- Soler, R., & Bueso, J. (2017). Análisis de las alteraciones de la cáscara del huevo de gallina. *Revista Iberoamericana Interdisciplinaria de Métodos Modelización y Simulación*, 10, 137–147. <https://riucv.ucv.es/bitstream/handle/20.500.12466/869/document%2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Soriano, J. (2021). *Efectos en la calidad del huevo de la gallina Lohmann Brown en diferentes tiempos de conservación a temperatura ambiente en Santa Elena* [Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6354/1/UPSE-TIA-2021-0082.pdf>
- Toalombo, P. (2019). *CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA, PRODUCTIVA Y GENÉTICA DE LA GALLINA CRIOLLA DEL ECUADOR* [Universidad de Córdoba]. <https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/ucopress@uco.es>
- Villaroel, G. (2018). *Evaluación del efecto de súper dosis de fitasa (1800 FYT) sobre los parámetros productivos de gallinas ponedoras marrones de 60 a 72 semanas de vida* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/17562/1/T-UCE-0014-MVE-002-P.pdf>

Yépez, E. (2022). *Efectos del uso de fitasa en la alimentación de gallinas ponedoras*

[Universidad Técnica de Babahoyo].

<http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/11414/E-UTB-FACIAG-MVZ-000092.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zhai, H. X., Wang, J. P., Zhang, Q., Aureli, R., Tschambser, A., & Faruk, M. U. (2022).

Evaluation of the efficacy of a novel phytase in short-term digestibility and long-term egg production studies with laying hens. *Poultry Science*, 101(6), 101894.

<https://doi.org/10.1016/J.PSJ.2022.101894>