

Universidad Técnica Nacional

Sede Atenas

Licenciatura en Ingeniería en Sistemas de Producción Animal

Tesis de grado

Algas calcáreas (*Lithothamnium calcareum*) como suplemento en la alimentación de aves de postura para la mejora de parámetros productivos y de calidad del huevo.

Autores

German Oniel Zepeda Vásquez

Luis Daniel Jiménez Jara

Tutor(a)

Jorge Alberto Elizondo Salazar

Atenas, mayo 2025

Dedicatoria

A Dios, en primer lugar, por otorgarnos la sabiduría y la fortaleza para culminar nuestros estudios. También a nuestros padres, cuyo amor y apoyo incondicional nos acompañaron durante cada paso de este emocionante viaje universitario y en cada etapa de nuestras vidas. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

Agradecimiento

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al profesor Jorge Alberto Elizondo Salazar, quien, como nuestro docente y tutor, nos acompañó en el desarrollo de este trabajo de grado y nos proporcionó valiosos conocimientos y orientación a lo largo de la realización de nuestra tesis.

Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a Granja Avícola Piedras Negras y a su propietario, Mario Naranjo Guzmán, por su generosa disposición para apoyarnos con las aves experimentales y por facilitarnos el uso de sus instalaciones.

También agradecemos a la empresa Disagro por todo el apoyo durante el tiempo de la prueba, y finalmente, deseamos expresar nuestra gratitud a la empresa Megatrópico S.A por habernos permitido utilizar su laboratorio de calidad para medir los parámetros del huevo durante el tiempo del experimento. Un agradecimiento especial a Kendall Rosales Arias y Gerardo Vásquez, quienes brindaron su colaboración y apoyo en este proceso como parte del equipo de Megatrópico S.A.

Tabla de contenido

Portada.....	I
Dedicatoria	II
Agradecimiento	III
Tabla de contenido	IV
Índice de cuadros	VI
Índice de figuras	VII
Índice de gráficos	VII
Índice de Anexos	VII
II. Justificación.....	1
III. Introducción.....	3
IV. Objetivos	5
4.1. Objetivo general.....	5
4.2. Objetivos específicos	5
V. Marco teórico.....	6
5.1. Algas calcáreas	6
5.2. Características del huevo de la gallina.....	9
5.3. Factores que determinan la calidad interna del huevo	10
5.3.1. Cantidad de albumen (Unidades Haugh).....	10
5.3.2. Resistencia de la cáscara	11
5.3.3. Grosor de cáscara	11
5.4. Calidad del huevo	12
5.4.1. Variación del peso del huevo	13
5.5. Calidad de la cáscara.....	13
5.6. Anatomía y fisiología del huevo.....	14
5.7. La cáscara	15
5.8. Minerales	16
5.9. Importancia del calcio en la producción de huevo.....	17
5.10. Metabolismo del calcio	18
5.11. Costos por pérdida de la calidad del cascarón	19
5.12. Producción de huevos.....	20
VI. Materiales y métodos.....	21

6.1. Localización	21
6.2. Procesamiento	21
6.3. Definición de la muestra.....	23
6.4. Variables evaluadas	23
6.4.1. Cantidad de huevo de primera.....	23
6.4.2. Resistencia de la cáscara	23
6.4.3. Grosor de cáscara	23
6.4.4. Masa de huevos producidos	24
6.5. Análisis estadístico.....	24
6.6. Análisis Bio-económico	25
VII. Resultados y discusión	26
7.1. Resistencia de la cáscara	26
7.2. Grosor de la cáscara.....	27
7.3. Huevos de primera.....	29
7.4. Masa de huevos producidos	32
7.5. Análisis bio-económico.....	36
VIII. Conclusión	41
IX. Recomendaciones	42
X. Literatura Citada	43
XI. Anexos	52

Índice de cuadros

Cuadro 1. Distribución y clasificación del huevo de acuerdo con el peso (gramos)	13
Cuadro 2. Alimento balanceado para gallinas ponedoras utilizado durante el periodo de experimentación (0,0; 1,5 y 3,0 % de Lithothamnium calcareum).	22
Cuadro 3. Resistencia de cáscara (N/kg) utilizando tres tipos de tratamientos (0,0; 1,5 y 3,0 % de Lithothamnium calcareum)	26
Cuadro 4. Grosor de cáscara (mm), incorporando 0,0; 1,5 y 3,0 % de Lithothamnium calcareum en tres tratamientos.....	28
Cuadro 5. Cantidad de huevo de primera de las aves alimentadas con las tres dietas (0,0; 1,5 y 3,0 % de Lithothamnium calcareum).....	30
Cuadro 6. Porcentaje de postura en las 8 semanas utilizando los distintos porcentajes de inclusión de algas marinas (0,0; 1,5 y 3,0 %)......	31
Cuadro 7. Masa de huevo (kg) de las aves alimentadas con las tres dietas (0,0; 1,5 y 3,0 % de Lithothamnium calcareum)	33
Cuadro 8. Kilogramos de alimento consumido y producción de huevos de primera por semana en los tres tratamientos (0,0; 1,5 y 3,0 % de algas calcáreas)	37
Cuadro 9. Rentabilidad económica proyectando dos escenarios entre los tres tratamientos (0,0: 1,5 y 3,0 % de Lithothamnium calcareum) en 8 semanas de producción.....	38

Índice de figuras

Figura 1. Medición de unidades Haugh	10
Figura 2. Medición de resistencia de cáscara.	11
Figura 3. Medición de grosor de cascara	12
Figura 4. Proceso de formación del huevo	15
Figura 5. Homeostasis del calcio.....	19
Figura 6. Aves alojadas en las naves del galpón.....	22

Índice de gráficos

Gráfico 1. Índice de temperatura y humedad en el cantón de Mora, provincia de San José, Costa Rica en el año 2024.	34
---	----

Índice de Anexos

Anexo 1. Entrada principal a la granja Avícola Piedras Negras.....	52
Anexo 2. Proceso de identificación de las aves	52
Anexo 3. Diseño de la identificación de los tratamientos	52
Anexo 4. Diseño de los registros para la recolección de datos	53
Anexo 5. Equipos utilizados para medición de parámetros del huevo	53
Anexo 6. Identificación de los recipientes para pesaje de alimento	53
Anexo 7. Método de separación del alimento entre tratamientos.....	54
Anexo 8. Área de fabricación de alimento balanceado para los tratamientos	54

I. Resumen

Esta investigación sobre el uso de algas calcáreas (*Lithothamnium calcaireum*) en la alimentación de gallinas de postura se realiza con la finalidad de conocer el impacto en la mejora de parámetros productivos y de calidad del huevo. El estudio se llevó a cabo entre abril y junio del 2024 en Piedras Negras de Mora y tuvo como objetivo evaluar el impacto de diferentes porcentajes de inclusión de algas calcáreas (0,0 %, 1,5 % y 3,0 %) en un lote de 342 gallinas de la raza Isa Brown. Las aves fueron distribuidas en tres grupos de 114 gallinas cada uno, y el experimento se llevó a cabo de la semana 70-77 de producción, evaluando semanalmente variables como la resistencia de cascara, grosor de la cáscara, la producción de huevos de primera y la masa total de los huevos producidos. Los resultados mostraron que no hubo diferencias estadísticas significativas ($p>0,05$) en la resistencia de la cáscara. Asimismo, el análisis del grosor de la cáscara no presentó diferencias significativas ($p>0,05$) entre los grupos experimentales. En la producción de huevos de primera y masa de huevos producidos, se observó que durante las primeras siete semanas experimentales no existió diferencias ($p>0,05$). Sin embargo, en la última semana del experimento, se registraron diferencias significativas ($p<0,05$) entre el tratamiento de 1,5 % y el control (0,0 %), evidenciando una mejora en la cantidad de huevos de primera y los kilogramos de huevo a partir de la semana 77. Los análisis bioeconómicos sugieren que la inclusión de algas calcáreas es rentable, destacando que el tratamiento con 1,5 % presentó el mejor margen de ganancia. En conclusión, a pesar de no mostrar diferencias significativas ($p>0,05$) en resistencia de cascara, y grosor de cáscara, se identifica una mejora en la producción de huevo al utilizar 1,5 % de algas calcáreas, lo que genera un impacto positivo en la rentabilidad.

II. Justificación

Los sistemas de producción de huevos desempeñan una función fundamental en garantizar la seguridad alimentaria para la población mundial en expansión que se proyecta alcanzará los 9,7 mil millones para 2050 (Cao & Li, 2013). Debido a que los consumidores son cada vez más conscientes de la excelencia y la inocuidad de los productos que compran, la industria avícola se ve motivada a evaluar, cuantificar y establecer normas para la excelencia de la calidad del huevo basadas en certificaciones internacionales para la industria agroalimentaria (Causillas-Corbella et al., 2017).

La nutrición animal es crucial para la mejora de la calidad del huevo en las aves de postura, ya que se relaciona directamente con las exigencias del mercado y las normas reguladoras de salud del consumidor que impactan la producción avícola (Vera-Rodríguez et al., 2020; WingChing-Jones et al., 2023). En este contexto, las algas calcáreas, como el *Lithothamnium calcareum*, emergen como una fuente nutritiva excepcional que no solo aporta calcio (30-35 %), fósforo y otros minerales esenciales, sino que también se adapta a los requerimientos nutricionales de las aves, optimizando así su producción y calidad de huevo (Melo & Moura, 2008; Carlos et al., 2011).

Al existir una combinación entre nutrición adecuada y el uso de recursos naturales, las algas calcáreas permiten mejorar los estándares de calidad en la producción avícola, beneficiando al mismo tiempo la salud y el bienestar de las aves. La alimentación de las gallinas de postura con algas marinas muestra buenos beneficios en la calidad y en la producción del huevo según estudios experimentales llevados a cabo en explotaciones avícola, debido a que la disponibilidad de calcio como un mineral orgánico puede fortalecer la estructura de la cáscara del huevo llegando a aumentar el grosor (mm), lo que reduce las fracturas, pérdidas de forma y mermas en la producción (Carranco et al., 2003).

Las consecuencias económicas derivadas de los huevos que se rompen son de una magnitud difícil de calcular en muchos casos. En un estudio canadiense de

1967, se informó que el índice de rotura alcanzada fue de 4,9 %, una cifra que, en realidad, parece ser relativamente baja (Castillo & Ródenas, 2018). La mayoría de los estudios sobre roturas y la calidad de los huevos en general provienen de los Estados Unidos, donde la más baja ha sido un 4 % y la más alta un 11 % (Leeson & Summers, 2005).

Incorporar algas calcáreas en la dieta de las aves de postura no solo responde a la búsqueda de alternativas para obtener mejores resultados en la producción y la calidad del huevo, sino que beneficia la rentabilidad económica de las producciones que buscan ser autosostenibles en el tiempo.

III. Introducción

En 2017, el sector avícola de Costa Rica representó el 24 % de las actividades pecuarias y contribuyó con el 5,4 % del valor bruto de la producción agropecuaria del país (Bermúdez et al., 2021). Entre 2012 y 2016, la industria de los huevos aumentó la cantidad de gallinas ponedoras de 2,89 a 3,80 millones, y el consumo per cápita pasó de 200 a 206 unidades (Ruiz, 2017). Este alimento es valorado por los costarricenses por su fácil preparación, precio accesible y beneficios nutricionales, como su alto contenido de proteínas y vitaminas (Peña et al., 2011).

El huevo se ha consolidado como un elemento fundamental en las dietas gracias a su riqueza en proteínas, minerales y vitaminas, sin representar un riesgo para la salud (Ortega, 2014). Además, su versatilidad culinaria y bajo contenido calórico lo hacen atractivo para los consumidores (Carrillo, 2013). No obstante, los consumidores están cada vez más interesados en la calidad aparente del producto, incluyendo aspectos como el tamaño, color de la yema y frescura (Chacón-Villalobos et al., 2015).

Desde el año 2000, ha aumentado la preocupación por el bienestar de las aves en la Unión Europea, donde el 77 % de los consumidores aboga por mejorar las condiciones en las granjas avícolas (Comisión Europea, 2007). Esta tendencia también se observa en Estados Unidos, donde los compradores buscan información sobre la procedencia y manejo de los productos (Ellison et al., 2017). Sin embargo, en Costa Rica, se desconoce si el consumidor tiene inquietudes similares; lo que sí se ha verificado es que priorizan los parámetros externos que garantizan la calidad del huevo (Holt et al., 2011).

En el sector avícola, hay pérdidas significativas debido a la calidad del huevo, ya que entre el 5 y 7 % de los productos no llegan al consumidor final, y alrededor del 10 % son desechados por defectos externos (King'ori, 2012). La calidad del huevo también se ve afectada por la edad de las gallinas, lo que impacta en características como el peso, color y grosor de la cáscara (Guier-Serrano et al., 2021).

Para abordar estos desafíos, se ha considerado el uso de alga *Lithothamnium calcareum* en la alimentación de gallinas, como una alternativa para mejorar la absorción de calcio y optimizar la producción de huevos (Neto et al., 2010). Esta alga, rica en calcio, se puede incluir en la dieta sin presentar antagonismo iónico (Carlos et al., 2011).

El uso de algas en la alimentación tanto humana como animal es una tradición que se remonta a hace siglos. Así, por ejemplo, en Asia, hay registros de que las algas marinas se han consumido desde el siglo IV en Japón y desde el siglo VI en China. Estos dos países, junto con Corea del Sur, son los principales consumidores de algas marinas, lo que ha dado lugar a una industria significativa (McHugh, 2002).

Mariey et al. (2012) estudiaron el impacto del uso de algas calcáreas en dos razas de gallinas (Sinai y Gimmizah). Los resultados mostraron diferencias significativas en el porcentaje de producción, la masa diaria de huevo y la conversión alimenticia en comparación con el grupo de control. El uso de *Lithothamnium calcareum* en las dietas de codornices japonesas en concentraciones del 0,25 y 0,5 %, resultó en un peso de yema superior al del grupo control (Melo et al., 2008).

IV. Objetivos

4.1. Objetivo general

Evaluar la incorporación de algas calcáreas (*Lithothamnium calcareum*) en la dieta de gallinas de huevo comercial en jaula de un lote de producción a partir de la semana setenta de vida, aplicando tres tratamientos para determinar su efecto sobre algunos parámetros de calidad del huevo y productividad.

4.2. Objetivos específicos

Analizar la calidad externa del huevo mediante la evaluación de parámetros como la resistencia y el grosor de la cáscara, aplicando tres tratamientos diferentes con algas calcáreas.

Determinar la viabilidad económica de la incorporación de algas calcáreas en la dieta de las gallinas, evaluando la masa de huevos producidos y la cantidad de huevos de primera calidad, a través de un modelo bioeconómico.

V. Marco teórico

5.1. Algas calcáreas

La alimentación de las gallinas de postura con algas marinas puede llegar a tener beneficios positivos en la calidad del huevo, debido a que la disponibilidad de calcio como un mineral orgánico que puede fortalecer la estructura de la cáscara llegando a aumentar el grosor, evitando las fracturas y pérdidas de forma (Carranco et al., 2003).

La incorporación de este suplemento en la dieta de las aves de postura mejora la concentración de minerales y vitaminas en el huevo, de igual forma contribuye a la reducción de pérdida de frescura y resistencia en la cáscara, llegando a reducir pérdidas económicas por la producción de huevos con cáscara frágil que conduce a la reducción de la comercialización de huevo (Sánchez & Alfonso, 2019).

En Europa se inició la producción de pequeñas cantidades de algas destinadas principalmente al consumo local, con un enfoque en la complementación de la alimentación animal, sin embargo, excepto en el caso del petróleo, la explotación de los recursos minerales marinos ha sido esporádica y discontinua, generalmente limitada a actividades como la extracción de arena para la regeneración de playas, la recolección de conchas y algas calcáreas en los estados de Río de Janeiro y Espírito Santo (De Almeida et al., 2012).

En Brasil el uso de las algas estaba limitado principalmente a la agricultura, pero en años recientes, con la introducción de productos basados en *Lithothanum calcareum* como suplemento en la alimentación animal ha aumentado el interés en la investigación tanto en instituciones públicas como privadas (Assoumania & Aquamin, 1997).

En Costa Rica el alga marina se ha introducido en el mercado de nutrición vegetal y animal siendo utilizado en industria avícola, porcina y bovina. La parte orgánica del alga contiene calcio y magnesio, junto con más de setenta elementos balanceados, incluidos: aminoácidos, polisacáridos y vitaminas, que aportan nutrientes y mejoran rápidamente, favoreciendo el desarrollo y aumentando la

productividad. No existe otro producto similar o que lo reemplace, debido a su origen marino y a la particular porosidad de su pared celular (Hernández, 2014).

En la producción animal, donde el costo de la alimentación representa alrededor del 70 % de los gastos totales, el suministro de calcio desempeña un papel significativo, ya que inclusión de alternativas de minerales, como la harina de algas calcáreas (*Lithothanium calcareum*), en las formulaciones de alimentos y su uso en la región se convierte en herramientas valiosas para optimizar el beneficio neto del productor (Leeson & Summers, 2005). Según lo señalado Rodríguez-Alfaro (2019), las algas calcáreas consisten principalmente en carbonato de calcio y magnesio, y también contienen más de 20 oligoelementos en cantidades variables, como hierro (Fe), manganeso (Mn), oro (B), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo), selenio (Se) y estroncio (Sr).

Las algas son seres vegetales autótrofos, lo que significa que tienen pigmentos capaces de captar la luz y pueden tomar nutrientes directamente del agua, pueden absorber sales minerales y otras sustancias nutritivas a través de cualquier parte de su estructura. Estos nutrientes se convierten en sustancias de reserva que contribuyen a la renovación y el mantenimiento de sus tejidos (De Almeida et al., 2012).

Las algas prosperan y se desarrollan en entornos con condiciones específicas en lo que respecta a la humedad, salinidad, luz, tipo de sustrato, corrientes de agua, mareas, oleaje, temperatura del agua, y la disponibilidad de nutrientes, entre otros factores, esto implica que hay una notable adaptación a diversas variables, lo que abarca una amplia gama de especies que se han adaptado a una variedad de entornos (Torres Larco et al., 2022).

Lithothanium calcareum es una especie de alga roja que tiene la capacidad de absorber minerales y nutrientes del mar de manera eficaz durante su crecimiento, el esqueleto calcáreo que desarrolla se deposita en el lecho marino a través de un riguroso proceso que incluye la recolección, lavado, purificación, cribado y molienda, se obtiene una materia prima que puede describirse como un complejo mineral marino que contiene 74 minerales traza biodisponibles (Carlos et al., 2011).

La composición de este producto varía según la ubicación de su obtención, los depósitos de algas marinas calcáreas en aguas frías como los de Islandia son de mayor calidad en comparación con los depósitos en aguas más templadas. Como resultado, las fuentes de *Lithothanium calcareum* pueden diferir significativamente en su composición mineral y efectividad, dependiendo de su origen (Genova et al., 2022).

El componente mineral principal de estas algas es el calcio, que representa entre el 30 y el 35 % de su composición, este calcio se encuentra en forma de carbonato cálcico, pero a diferencia de los carbonatos cálcicos terrestres, no solo se presenta en forma de calcita, sino que también se encuentra en dos polimorfos, la vaterita y la aragonita. Un rasgo distintivo de estos minerales marinos, incluyendo el calcio, es su alta biodisponibilidad, ya que pueden solubilizarse incluso en entornos con pH elevado (Da Silva et al., 2021).

Melo & Moura (2008) mencionan que es posible extraer las sales minerales presentes en el agua de mar, y en particular, concentrar el magnesio puro debido a su alta biodisponibilidad. El agua de mar contiene aproximadamente un 3,5 % de sales disueltas, de las cuales alrededor del 0,5 % consiste en Cloruro de Magnesio ($MgCl_2$) y Sulfato de Magnesio ($MgSO_4$).

Las algas también se componen de los siguientes minerales: yodo, sodio, hierro, azufre, fósforo, potasio, flúor, manganeso, zinc, cromo, cobre y contiene aminoácidos como alanina, arginina, cisteína, glicina, isoleucina, metionina, Treonina, triptófano, valina entre otros (Días, 2000).

5.2. Características del huevo de la gallina

Un huevo tiene un peso promedio de 58 gramos y un volumen de 53 centímetros cúbicos. De este total, 39 gramos son agua (67 %), 7 gramos son proteínas (12 %), 6,2 gramos son lípidos (10,7%), 0,3 gramos son hidratos de carbono (0,5 %), 2 gramos son calcio (3,4%), y el resto está compuesto por minerales, oligoelementos y otros componentes. Todos los lípidos se encuentran en la yema, mientras que las proteínas se dividen entre la yema (3,3 gramos) y la clara (3,5 gramos) (Codony, 2002). Casi todos los minerales y el calcio se localizan en la cáscara.

El huevo se compone principalmente de tres partes: la yema, que equivale a un óvulo microscópico en los mamíferos; la albúmina o clara, que es secretada por el aparato reproductor; y la cáscara, que proporciona protección y minerales al embrión en desarrollo. Cada uno de estos componentes tiene una estructura física y química compleja (Hafez, 2002). La clara rodea a la yema y tiene una función bactericida que actúa como una verdadera barrera protectora. Se pueden identificar cuatro capas en la clara: la primera es espesa y envuelve la yema, representando el 3 % de la clara, y contiene la chalaza, que mantiene la yema centrada; la segunda capa es más fluida y corresponde al 17 %; la tercera es espesa y constituye el 57 %; y la cuarta capa es fluida, representando el 23 % de la clara, rodeada por la membrana del huevo (Sastre et al., 2003).

La yema, que es la parte central del huevo y de color amarillo, varía en tonalidad según la alimentación de la gallina ponedora, aunque el color no indica su valor nutricional. Es una fuente significativa de vitaminas, minerales, la mitad de las proteínas y toda la grasa y colesterol presentes en el huevo. El disco germinativo es una leve depresión apenas perceptible al lado de la yema (Juárez-Caratachea et al., 2010).

La cáscara se sitúa sobre las membranas testáceas (interna y externa) y está cubierta por una cutícula orgánica. Su grosor es de aproximadamente 0,35 milímetros, compuesta en un 90 % por carbonato cálcico, y presenta entre 7 000 y

15 000 poros que permiten el intercambio de gases con el ambiente (Castillo & Ródenas, 2018).

5.3. Factores que determinan la calidad interna del huevo

5.3.1. Cantidad de albumen (Unidades Haugh)

El espesor del albumen es dado por los factores de genética, nutrición (macronutrientes, suplementos y ración), sanitarios, la edad de la gallina ponedora y la forma de almacenar el huevo (Bautista et al., 2013).

También se debe al tiempo, la cantidad de almacenamiento y la edad de la gallina, al envejecer la viscosidad y la nutrición del albumen se reduce, si existe un aumento en la calidad de proteína en el huevo se reduce las unidades Haugh, y cuando existe suficiente vitamina C y D, este parámetro interno mejora (Romera et al., 2021).

Para determinar el valor de frescura se mide la altura del albumen a una distancia de 1 cm de la yema con un micrómetro Haugh junto con el peso del huevo, el cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$U.H. = 100 * \text{Log} [H + 7.57 - (1.7 * P^{0.37})]$$

- U.H. = Unidad Haugh
- H = Altura del albumen en milímetros
- P = Peso del huevo en gramos

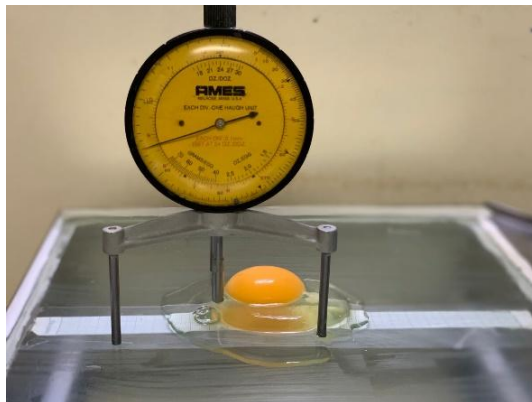


Figura 1. Medición de unidades Haugh
Fuente: Elaboración propia

5.3.2. Resistencia de la cáscara

Es un parámetro que depende de la fortaleza que exista en la membrana perivitelina, es la medición de dureza y ruptura de la cáscara mediante equipos especializados (durómetros o texturómetros) con el fin de realizar una medición de forma precisa utilizando la fuerza (N) para conocer la capacidad de soporte del huevo antes que se rompa (Bautista et al., 2013).



Figura 2. Medición de resistencia de cáscara.

Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Grosor de cáscara

Se realiza con el fin de conocer el espesor del huevo, este se mide mediante la utilización de un instrumento llamado micrómetro, este parámetro puede variar según la edad del ave y la disponibilidad de calcio que tiene la gallina para incorporar al huevo al momento de la formación (Weight & Chicks, 2017).



Figura 3. Medición de grosor de cascara

Fuente: Elaboración propia

5.4. Calidad del huevo

La calidad es un concepto que en la actualidad es muy demandado por los consumidores de productos de origen animal, los huevos deben de poseer varias vertientes, desde la ausencia de agentes patógenos como *Salmonella* hasta los criterios técnicos establecidos en las normas a la hora de etiquetado en las plantas de manufactura y la trazabilidad (Baucells et al., 2000).

Romera et al. (2021) menciona que dentro de los controles de calidad existen los siguientes niveles:

Calidad externa: Se genera la detección de productos no conformes como huevos rotos o sucios.

Calidad interna: Se incorpora la frescura, color de yema, grosor de cascara.

Calidad fisicoquímica y microbiológica: Se utiliza para conocer la composición nutricional del huevo para descartar enfermedades como la *Salmonella*.

Existe una dificultad para realizar una valoración de la calidad del huevo cuando existe variación de las proporciones y composición físicas y químicas, dentro de las variaciones físicas se encuentra la edad, la genética, alimentación y las afectaciones patológicas y deformaciones en los oviductos que producen un

huevo que contiene escasa albúmina, aunque la cascara y yema se vean normales (Nys & Guyot, 2011).

5.4.1. Variación del peso del huevo

Este parámetro se valora mediante el uso de balanza electrónica para obtener una medida en gramos, los pesos pueden llegar a reducirse 0,1 g/día cuando se encuentra refrigerado y un 0,2 g/día con esta a temperatura ambiente (Weight & Chicks, 2017).

El huevo se clasifica según su peso para su distribución en el mercado nacional, y en función de esta clasificación, se presenta en diversas presentaciones (Mamani & Abraham, 2010).

Cuadro 1. Distribución y clasificación del huevo de acuerdo con el peso (gramos)

Bajo	Pequeño	Mediano	Grande	Extragrande	Jumbo
< 43 g	43-50 g	50-57 g	57-64 g	74-71 g	> 71 g

5.5. Calidad de la cáscara

Forma: Posee una forma ovalada, cuando es muy irregular se pueden provocar roturas al momento del transporte de los nidos al mercado.

Color: Ese parámetro depende de la genética de la gallina, ya que existen huevos color marrón y blancos, pero existen otros factores que inducen a la anomalía de este parámetro como la edad de las aves, siendo el huevo más claro en las últimas semanas del ciclo y cuando existe un fuerte estrés por el mal manejo suele suceder que la calcificación en el útero no se realiza de forma adecuada lo que produce la pérdida de color (Ibarra et al., 2023).

Limpieza: Un huevo recién puesto, cuando está húmedo y caliente se encuentra totalmente limpio, lo que podría ensuciarlo es un problema de diarrea por las constantes deyecciones de la cloaca, no existe una forma de valorar un huevo sucio, toda la valoración se hace de forma visual (Plazas et al., 2016).

Resistencia: Cuando existe una buena resistencia de la cascara, los problemas de roturas no se ven afectados y la resistencia se puede medir con el

grosor, densidad, porcentaje de cascara, aplastamiento, punción, presión (Ibarra, et al., 2023).

5.6. Anatomía y fisiología del huevo

El aparato reproductor de la gallina se divide en dos partes: oviducto y ovario, la mayor parte de las hembras poseen dos ovarios, uno derecho y el otro izquierdo, los dos funcionales, pero en el caso de las gallinas el ovario y el oviducto de lado derecho se encuentra inactivo y el ovario y oviducto izquierdo son los responsables de la formación del huevo (Nys & Guyot, 2011).

El ovario de la gallina esta adherido a la parte central de la espalda, específicamente entre el cuello y la cola, el órgano está formado cuando el polluelo sale del huevo, pero es muy pequeño, el ovario puede llegar a contener una cantidad de 3 600 a 4 000 ovas (futuras yemas), y cada una está protegida por su propio saco o folículo (Huyghebaert, 2006).

El oviducto se caracteriza por ser un órgano largo, con forma de tubo que se encuentra a lo largo de la espina dorsal, entre ovario y cola, este órgano posee una longitud entre 63 a 68 cm y puede dividirse en 5 partes que desarrollan una función en específico para completar la formación del huevo (Cabezón, 1982).

Cuando la gallina entra en producción, cada día se va formando y moldeando distintas estructuras con la finalidad de obtener un huevo, todo el proceso es una maravilla de la bioquímica, en el proceso de formación del huevo con un tiempo de 24 horas el ovulo debe de prepararse y protegerse en su salida mediante la formación de la cascara (Kisboa, 2013).

Según García (2005), el huevo para los años de 1960 a 1970 pesaba unos 57 gramos, pero según el avance del tiempo los pesos han mejorado por las exigencias de un mercado más selectivo, actualmente el peso promedio de un huevo oscila en 65 gramos.

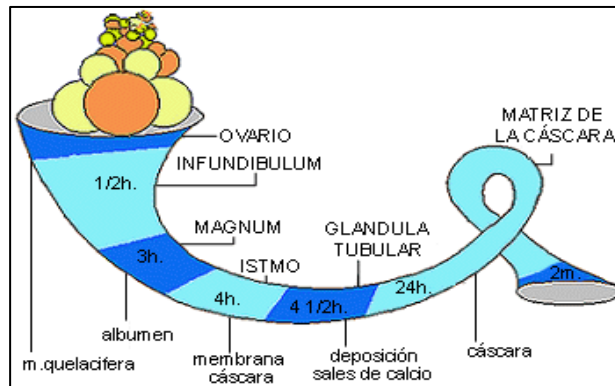


Figura 4. Proceso de formación del huevo

Fuente: (Gallego et al., 2000)

5.7. La cáscara

Estrada et al. (2008) describe que el huevo posee un peso promedio de 65 g, donde la clara representa 60 %, la yema 30 %, y la cascara junto con las membranas representan el 10 % del total de peso. La cascara del huevo está compuesta en su mayor parte por una matriz de calcio, donde la composición incluye proteínas y mucopolisacáridos que están alrededor de un mineral, donde el calcio es el mineral más importante y abundante.

Además del calcio en la matriz se pueden encontrar otros minerales como sodio, magnesio, zinc, manganeso hierro, cobre aluminio y boro, la calidad de la cascara depende de un correcto metabolismo de la gallina y también por las características genéticas (Kisboa, 2013). El color que refleja la cáscara es parte de la herencia y está ligada a los niveles de pigmentos denominados porfirinas depositadas en la matriz cálcica, la raza del ave de postura se encarga de determinar el color de la cascara (blanco o marrón), sin existir diferencia de calidad entre ambos, lo contrario que sucede a la resistencia de cascara mediante avanza a la edad del ave (Gallego et al., 2000).

La matriz de la cáscara del huevo está formada por cristales muy pequeños de calcita que no están ordenados en algún tipo de secuencia, pero en la parte exterior de la capa los cristales de calcita están ordenados en ángulo recto con relación a la superficie de la cáscara, los cristales en la matriz forman la capa de la

palizada de la cáscara, además el área más profunda de la cáscara posee una densidad más profunda que las áreas exteriores de la cáscara (Huyghebaert, 2006).

Mamani & Abraham, (2010) señalan que la calidad de la cáscara de los huevos es un factor clave en la producción de huevos comerciales. Con el aumento en el comercio de huevos en cáscara, las máquinas clasificadoras han evolucionado, utilizando métodos cada vez más avanzados para detectar daños. Asimismo, las exigencias de los centros de comercialización son cada vez más estrictas. Existen varios factores que influyen en la calidad externa del huevo, tales como:

- Genética
- Fisiología: edad, ciclos de postura, etc.
- Condiciones ambientales: temperatura, ventilación, etc.
- Instalaciones y equipo: tipos de baterías, sistemas de recolección, etc.
- Estado de salud: bronquitis, neumovirus, micoplasma, entre otros.
- Manejo: programas de iluminación, edad de madurez sexual, etc.
- Nutrición: niveles y disponibilidad de calcio y fósforo, vitamina D, oligoelementos, etc.

5.8. Minerales

Los minerales desempeñan un rol importante en la nutrición de las aves de postura debido a la alta participación en diversos procesos de metabolismo que se generan para la formación del huevo (Neto et al., 2010). Las deficiencias de minerales pueden desencadenar grandes problemas de rendimiento en las aves.

Dentro de la clasificación de los minerales se pueden identificar dos grandes grupos, el primero son los macrominerales cuando el organismo los requiere en mayor cantidad y los micro minerales que los animales lo necesitan en menor cantidad, aunque los micro minerales son demandados en un porcentaje menor a los macrominerales estos son indispensables para las rutas metabólicas, desarrollo y producción de los animales (Azevedo, 2017).

Dentro de la lista de minerales destacan el calcio y fósforo por ser responsable de muchas estructuras del cuerpo, como los huesos y participar activamente en el desarrollo y mantenimiento del organismo, en las aves de postura en la formación del huevo.

La falta de calcio puede limitar la absorción de fósforo en el organismo, mientras que cuando existe exceso de calcio tiende a presentarse una reacción con el fósforo (Sánchez et al., 2006; Plaza et al., 2016).

Cuando existen deficiencias de calcio en un organismo se desencadena una gran cantidad de problemas como raquitismo, osteomalacia, osteoporosis, afectación en el crecimiento y genera deficiencia en la producción de huevo (Soria, 2012).

Los alimentos que se utilizan en la alimentación de los animales no contienen las cantidades suficientes que el organismo necesita para cumplir con sus funciones, si una dieta está basada en la incorporación de materias primas como la soja y maíz, las aportaciones de calcio serán de 0,07 y 0,05 % que son cantidades muy bajas en comparación con 3,5 a 5,5 % que necesita la gallina de postura para su producción (Rodríguez-Moya & Cruz-Bermúdez, 2017), por lo tanto es necesario recurrir a suplementos para la realizar correcciones en los niveles de inclusión.

5.9. Importancia del calcio en la producción de huevo

El calcio forma parte de los elementos que las aves necesitan para su respectivo mantenimiento, postura de huevo y formación de cascara, también este mineral es el componente inorgánico que toma mucha relevancia en varias funciones biológicas como: activador y desactivador de enzimas, coagula la sangre, transmite impulsos nerviosos, secreciones de hormonas, entre otros (Sánchez et al., 2006).

Las gallinas ponedoras de huevo comercial en un año pueden llegar a poner una cantidad de 280 a 290 huevos con un peso promedio de 65 g, lo cual repercute en el desgaste físico por las pérdidas de material, llegando a existir 9 veces perdida de material del cuerpo con relación al peso corporal (Estrada et al., 2008).

La cantidad de calcio almacenado en el cascaron puede llegar a pesar entre 2 gramos con un peso promedio de la gallina de 2 kg, además las aves de postura contienen 20 gramos de calcio aproximadamente almacenado en su esqueleto, cada huevo puede contener cerca del 10 % de la totalidad en calcio corporal (García, 2009).

Si se toma en cuenta que el ciclo de ovulación de la gallina es de 25 a 26 h, entonces se puede conocer que necesitan 1 g calcio kg⁻¹ corporal para la formación de la cáscara (Causillas-Corbella et al., 2017).

5.10. Metabolismo del calcio

El metabolismo es un proceso fisiológico de absorción, transporte, almacenamiento y eliminación del mineral del organismo, el calcio interviene en varios procesos fisiológicos del cuerpo, como la formación de hueso, contracciones musculares, funcionamiento nervioso coagulación y activación de enzimas (González-Vega & Stein, 2014).

El calcio que utilizan los animales es obtenido a través de la circulación de la sangre, ya que este procede de órganos intestinales como duodeno y yeyuno, además también procede del sistema óseo especialmente de los huesos largos donde este mineral se mantiene constante en la sangre involucrando la hormona paratiroidea (PTH), vitamina D, proteína fijadora de calcio & calcitonina (CT) (Nuñez, 1998).

Una vez que el calcio ha sido introducido al cuerpo mediante la alimentación, este entra al torrente sanguíneo en las aves se almacena en los huesos, en los huesos se puede encontrar en forma de cristal de hidroxapatita. La formación y reabsorción de este mineral es muy dinámico porque se integra a las zonas de almacenamiento y posterior se retira según la necesidad que se presente en el organismo (González-Vega & Stein, 2014).

Las hormonas que regulan los niveles de calcio son la PTH y calcitonina, además estas hormonas regulan los niveles plasmáticos de calcio que tienen

efectos sobre el metabolismo en los huesos, intestino y riñones (Kemme et al.,1997).

Cuando el cuerpo necesita realizar una eliminación de calcio lo genera a partir de los riñones por medio de la orina, donde se filtra a través de los glomérulos y luego absorbido por los tubos renales, que exista un equilibrio entre el proceso de absorción y secreción de calcio es clave para mantener los niveles óptimos en el torrente sanguíneo (García, 2005).

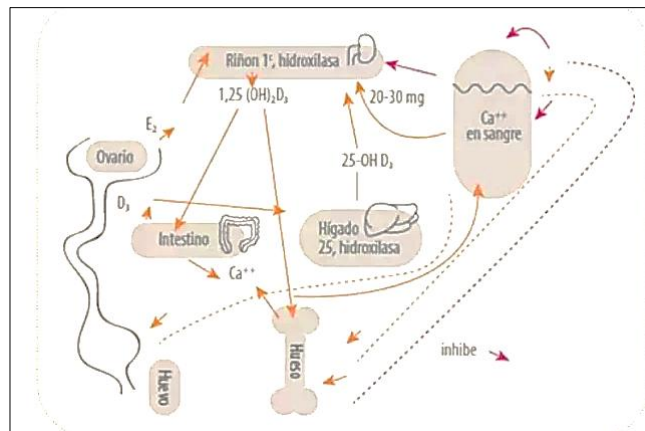


Figura 5. Homeostasis del calcio

Fuente: (Soares, 1984)

5.11. Costos por pérdida de la calidad del cascarón

Los huevos con fisuras y rotos son los responsables de las pérdidas económicas que se le generan al producto avícola, no existe un porcentaje exacto de pérdidas económicas por problemas de resistencia de cascara, la información existente sobre daños a la economía de granjeros avícolas es distinta debido a la forma de recolectar la información y por la diversidad de sistemas avícolas.

Los daños en el cascarón y aumento de huevo roto o disminución de resistencia este asociado a gallinas viejas debido a la reducción de la actividad renal de la 25(OH) B-1 hidroxilasa.

Según Salinas Morales (2009), la relación beneficio/costo (B/C) implica una comparación sistemática entre los beneficios de una actividad y los costos

asociados a su realización. Además, se menciona que una relación B/C favorable se presenta cuando el cociente es superior a uno, lo que indica que la actividad es rentable y no se incurrirá en pérdidas.

$$\text{Beneficio/Costo} = \text{Beneficio en efectivo/Costo de producción}$$

5.12. Producción de huevos

La fase de postura en gallinas reproductoras livianas generalmente comienza alrededor de la semana 20. La producción de huevos aumenta rápidamente y suele alcanzar su punto máximo hacia la semana 30, periodo que se denomina pico de postura, donde la intensidad de puesta se sitúa entre el 90 y el 97%. Después de alcanzar este máximo, la curva de producción comienza a descender de manera progresiva, reduciéndose a un 80-85%, lo cual se conoce como fase I (de la semana 31 a la 50). Desde la semana 51 hasta la 72, se le llama fase II, durante la cual la producción de huevos disminuye alrededor del 70%, dependiendo de las distintas líneas (Rodríguez & Bravo, 2019).

VI. Materiales y métodos

6.1. Localización

La investigación se llevó a cabo en la granja avícola de producción de huevo comercial “Piedras Negras” ubicada en el cantón de Mora, provincia de San José, Costa Rica (9°54'37.5"N 84°19'20.1"W), con un rango de temperatura que va desde 16 a 29 °C y la humedad relativa de 75 a 91 % (Alvarez-Brito et al., 2020). Los meses más lluviosos son de mayo a octubre y la altura en la que se encuentra la unidad de producción es de 503 msnm (Quintero & Flores, 2001).

6.2. Procesamiento

Se utilizaron 342 gallinas de la raza Hy_Line con una edad de 70 semanas, alojadas en jaulas de tres niveles (Figura 6). La población fue dividida en tres grupos de 114 gallinas cada uno; el grupo A se le asignó el tratamiento de 0,0 % de inclusión de alga calcárea (control), el grupo B constituyó el tratamiento que incluía 1,5 % de alga calcárea (15 kg/ton) en la dieta, y el grupo C se le asignó el tratamiento que incluyó 3,0 % de alga calcárea (30 kg/ton).

Durante las ocho semanas que duró el experimento, se evaluaron cuatro variables y se tomaron muestras cada semana, tomando en cuenta las investigaciones realizadas por Alves (2021), lo que representó 8 mediciones por cada tratamiento, llevando las gallinas de la semana setenta a la setenta y siete.

La alimentación se formuló cada semana para los tres tratamientos. La dieta de la granja contiene 65 kg de carbonato de calcio por tonelada de alimento balanceado (Cuadro 2). Para el tratamiento control, no se modificó la cantidad de carbonato de calcio, en el tratamiento dos se reemplazó 15 kg de carbonato de calcio y se sustituyó por 15 kg de harina de algas y para el tratamiento tres se reemplazaron 30 kg de carbonato de calcio por 30 kg de harina de algas. Las aves se alimentaron de forma manual, registrando cada uno de los parámetros diariamente en las hojas de registro prediseñadas.

Cuadro 2. Alimento balanceado para gallinas ponedoras utilizado durante el periodo de experimentación (0,0; 1,5 y 3,0 % de *Lithothamnium calcareum*).

Composición	Rangos	Tratamientos		
		0,0 %	1,5 %	3,0 %
Humedad (%)	(máximo)	13,0	13,0	13,0
Proteína cruda (%)	(mínimo)	15,0	15,0	15,0
Grasa cruda (%)	(mínimo)	2,5	2,5	2,5
Fibra cruda (%)	(máximo)	5,0	5,0	5,0
Energía metabolizable	kcal/kg	2950,0	2950,0	2950,0
Calcio (%)	(mínimo)	3,8	3,8	3,8
Calcio (%)	(máximo)	4,4	4,4	4,4
Alga calcárea (%)	(mínimo)	-	1,5	3,0
Alga calcárea (%)	(máximo)	-	1,5	3,0
Fósforo (%)	(mínimo)	0,5	0,5	0,5
Sal (NaCl) (%)	(mínimo)	0,4	0,4	0,4
Sal (NaCl) (%)	(máximo)	0,5	0,5	0,5

Ingredientes: Maíz molido y/o subproductos de granos procesados, harina de soya, semolina y/o puntilla de arroz, harina de trigo y/o acemite de trigo y/o salvadillo de trigo, harina de carne y hueso de res y cerdo, harina de coquito de palma africana, cascarilla de soya, carbonato de calcio, algas calcáreas, fosfato mono cálcico, metionina, lisina, aceite vegetal, sal común, cantaxantina, acetato de vitamina A, colecalciferol, DL acetato de tocoferol, riboflavina, d-pantotenato de calcio, ácido nicotínico, cianocobalamina, cloruro de calina, bisulfito sódico de menadiona, oxido de magnesio, oxido de zinc, carbonato de hierro, oxido de cobre, sulfato de cobalto, selenito de sodio, ácido fólico, clorhidrato de piridoxina.



Figura 6. Aves alojadas en las naves del galpón

Fuente: Elaboración propia

6.3. Definición de la muestra

Para el análisis de los parámetros internos del huevo como resistencia de cascara y grosor de cascara, se seleccionó una muestra compuesta de 30 huevos semanales por cada tratamiento. Se utilizaron un total de 90 huevos semanales por cada medición de calidad que totalizaron 720 huevos, lo que permitió realizar un análisis exhaustivo a lo largo del tiempo establecido para el estudio. La selección del tamaño de la muestra se fundamentó en las investigaciones previas llevadas a cabo por Plazas et al. (2016), que ofrecen una base sólida para garantizar la validez y representatividad de los resultados obtenidos.

6.4. Variables evaluadas

6.4.1. Cantidad de huevo de primera

La cantidad de huevo de primera se determinó a partir de la cantidad de huevo producido (unidades) por las gallinas en cada tratamiento y que se clasificaron como huevo de primera, para obtener las cantidades diarias por tratamiento. Para ello, se llenó un registro diario de los huevos producidos, el huevo de desecho y el huevo roto. La cantidad de huevo de primera se obtuvo sumando el huevo normal (limpio) junto con el huevo grande, sucio, blanco y raspado. En las áreas de preselección se realizó el manejo correspondiente para clasificarlo como huevo de primera. El procedimiento se ejecutó en 56 días que es equivalente a las 8 semanas del estudio.

6.4.2. Resistencia de la cáscara

Se realizaron mediciones de resistencia de cáscara a la muestra de 720 huevos de los tres tratamientos por el periodo de 8 semanas utilizando el instrumento de dureza de cáscara (Egg Force), el cual mide la capacidad que tiene el huevo para resistir antes de romperse según la fuerza aplicada por el instrumento (N/kg).

6.4.3. Grosor de cáscara

Este es un parámetro que busca medir la concentración de minerales orgánicos e inorgánicos, especialmente el calcio, que se encuentra en la cáscara. Para ello se abrió cada huevo de la muestra de cada tratamiento, que fueron 720

huevos en total, y se tomó una porción de la cáscara que se encuentra ubicada en el polo de la cámara de aire, que según Salazar-Sáenz (2008) es la parte más gruesa del huevo. Para esta medición se utilizó un instrumento llamado micrómetro y se eliminaron las membranas internas adheridas a la cáscara para que la medición del grosor contemplara solamente la cáscara.

6.4.4. Masa de huevos producidos

Para comercializar el huevo de primera se tomó en cuenta el peso de la presentación manufacturada por la granja lista para comercializar en tiendas de distribución. Este parámetro se generó a partir de la sumatoria de la producción total diaria de huevos por cada tratamiento. Se recogieron todos los huevos por cada tratamiento y utilizando una balanza se obtenía el peso en kilogramos registrándolo en el formato diseñado. Este procedimiento se realizó diariamente durante las 8 semanas que duró el estudio.

6.5. Análisis estadístico

Para este estudio se realizó un análisis estadístico mediante el modelo de diseño de bloques completos aleatorizados a partir de un análisis de la varianza (ANOVA) y posterior la prueba de Tukey para comparación de medias con un nivel de significancia de 0,05. Además, se analizó en un software estadístico SAS 9,4 para obtener los resultados.

Modelo condicional utilizado:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

- Y_{ij} =la observación en el tratamiento i dentro del bloque j
- μ = a media general del experimento
- T_i = el efecto del tratamiento i
- β_j = el efecto del bloque j
- ϵ_{ij} = el error aleatorio asociado con la observación

6.6. Análisis Bio-económico

Se realizó un análisis bio-económico en el que se plantean distintos escenarios para conocer el impacto económico que se generó a partir de una inversión en la modificación de la dieta de las aves que incluían algas calcáreas.

Este análisis se realizó comparando los resultados obtenidos en la producción con una dieta a base de calcio y con los resultados a partir de las dietas con alga calcárea al 1,5 y al 3,0 %

Este análisis tuvo como objetivo la realización de comparaciones entre el costo y beneficio de las alternativas que enfrenta la granja avícola, se centra en los cambios de los ingresos por la venta de huevo de primera tomando en cuenta el peso promedio del huevo en cada tratamiento y la diferencia en el costo de la alimentación por cada dieta proporciona como fue la del calcio en su totalidad e incorporando algas calcáreas con distintas proporciones en la alimentación de las aves de postura.

Se plantearon dos escenarios, el primero fue tomando en cuenta la cantidad de aves en el estudio (114) en un tiempo de 8 semanas, el otro escenario tomando en cuenta la cantidad de gallinas del lote del galpón (10 000) durante 8 semanas.

Este análisis se centró en conocer el retorno de la inversión económica generada mediante la incorporación del suplemento calcáreo en la dieta de las gallinas en un ciclo de postura, además se determinó el tratamiento más rentable a partir de las diferencias económicas.

VII. Resultados y discusión

7.1. Resistencia de la cáscara

Los resultados obtenidos de la variable no indican diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) en cuanto a la resistencia de la cáscara entre los tres tratamientos evaluados (0,0; 1,5 y 3,0 %) a lo largo de las 8 semanas del experimento. Este hallazgo es consistente a través de todas las semanas de medición, donde las medias (μ) y las desviaciones estándar (DE) de cada tratamiento muestran variaciones muy similares (cuadro 3).

Cuadro 3. Resistencia de cáscara (N/kg) utilizando tres tipos de tratamientos (0,0; 1,5 y 3,0 % de *Lithothamnium calcareum*)

Semana	Tratamiento					
	0,0 %		1,5 %		3,0 %	
	μ	\pm DE	μ	\pm DE	μ	\pm DE
70	3,7	\pm 0,7	3,6	\pm 0,9	3,9	\pm 0,9
71	4,1	\pm 0,7	3,8	\pm 0,9	3,8	\pm 0,9
72	3,9	\pm 0,6	4,0	\pm 1,0	3,8	\pm 0,7
73	3,9	\pm 0,9	3,9	\pm 0,6	3,7	\pm 0,8
74	3,9	\pm 0,5	3,7	\pm 0,7	3,8	\pm 0,8
75	3,9	\pm 0,7	3,7	\pm 0,5	3,9	\pm 0,6
76	3,5	\pm 0,7	3,8	\pm 0,8	3,6	\pm 0,8
77	3,8	\pm 0,6	3,7	\pm 0,5	3,9	\pm 0,8

DE desviación estándar; μ media muestral

A lo largo de las semanas, las medias de resistencia de cáscara se comportaron de manera relativamente estable, oscilando entre 3,5 y 4,1 en todos los tratamientos, con desviaciones estándar que indican similitud en la variabilidad de los datos (\pm 0,5 con la desviación menor y \pm 1,0 como máximo). En la semana 70, las medias fueron de 3,7 (0,0 %), 3,6 (1,5 %) y 3,9 (3,0 %), y aunque se observan pequeñas variaciones, estas no alcanzan diferencias significativas para afirmar que un tratamiento es mejor que otro (Ortega et al., 2022).

Melo & Moura (2008) en estudios realizados mencionan que la ausencia de diferencias significativas ($p>0,05$) podría generarse por la interacción de varios factores tales como condiciones ambientales, genética de las aves, periodo de prueba o dosis de inclusión de las algas calcáreas. Si bien el alga calcárea se utilizó con la intención de conocer si existía mejora en el parámetro de calidad de la cáscara, la no diferencia pudo haberse visto contrarrestado por limitaciones en la absorción de nutrientes claves (Batalle et al., 2022).

La falta de diferencia estadística pudo haber estado influenciado por factores como la edad de las aves, ya que a mayor edad el parámetro de resistencia de cáscara se ve afectado por la pérdida de minerales en la estructura de la cáscara (WingChing-Jones et al., 2023). La resistencia de la cáscara tiene una relación con la edad de las aves, además la resistencia de cáscara puede estar más influenciada por factores genéticos y ambientales tal como se ha encontrado en otros estudios (Madrigal-Portilla et al., 2023), lo que limita el impacto de los tratamientos administrados.

7.2. Grosor de la cáscara

En el análisis de los datos obtenidos sobre el grosor de la cáscara de huevo bajo diferentes tratamientos (0,0; 1,5 y 3,0 %) que corresponden a la incorporación de *Lithothamnium calcareum*, se observa que, a lo largo de las ocho semanas de estudio, no se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p>0,05$) entre los diferentes grupos (cuadro 4).

La ausencia de diferencias sugiere que la dieta produce resultados similares, independientemente de la inclusión de calcio o algas calcáreas en la alimentación de las aves. Este hallazgo no resulta sorprendente desde la perspectiva de la calidad del huevo, ya que estudios realizados por Cufadar et al. (2011) mostraron que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p>0,05$) entre los tratamientos utilizando distintas concentraciones de calcio en la dieta a una edad de 76 semanas.

Cuadro 4. Grosor de cáscara (mm), incorporando 0,0; 1,5 y 3,0 % de *Lithothamnium calcareum* en tres tratamientos

Semana	Tratamiento					
	0,0 %		1,5 %		3,0 %	
	μ	\pm DE	μ	\pm DE	μ	\pm DE
70	0,34	\pm 0,02	0,35	\pm 0,02	0,34	\pm 0,03
71	0,38	\pm 0,02	0,35	\pm 0,02	0,37	\pm 0,03
72	0,37	\pm 0,03	0,36	\pm 0,02	0,37	\pm 0,03
73	0,36	\pm 0,02	0,36	\pm 0,02	0,36	\pm 0,02
74	0,37	\pm 0,03	0,35	\pm 0,03	0,36	\pm 0,03
75	0,37	\pm 0,02	0,37	\pm 0,03	0,37	\pm 0,02
76	0,35	\pm 0,02	0,36	\pm 0,03	0,35	\pm 0,02
77	0,36	\pm 0,03	0,37	\pm 0,02	0,36	\pm 0,03

DE desviación estándar; μ media muestral

Al examinar las medias y las desviaciones estándar ($\mu \pm$ DE) de cada tratamiento planteado, se puede observar que los valores del grosor de la cáscara de huevo varían de manera relativamente estrecha. En la semana 70, las medias para los tratamientos fueron de 0,34; 0,35 y 0,34 mm, con una desviación estándar que indica una variabilidad moderada en las mediciones (\pm 0,02). Estas tendencias se mantienen a lo largo de las diferentes semanas, mostrando fluctuaciones en los valores de grosor, pero sin diferencias notables que pudieran indicar un efecto significativo de los tratamientos aplicados (Ortega et al., 2022).

Los resultados encontrados sugieren que la variabilidad observada en la cáscara de huevo no se debe a los tratamientos aplicados, sino que podría ser atribuida a otros factores, tales como variaciones individuales de los huevos o condiciones ambientales constantes en el proceso de producción (Roberts, 2005).

Uno de los argumentos más importantes para explicar la falta de significancia estadística entre los tratamientos ($p > 0,05$) es la edad de las gallinas en estudio, ya que otros experimentos en países como Brasil, los han ejecutado después de la semana setenta (De Sousa et al., 2024). Las aves jóvenes, generalmente, tienen características fisiológicas y metabólicas que difieren de las aves que están en sus

últimas semanas de producción, llegando a influir sobre el desarrollo de la cáscara del huevo (Osorio & Flórez, 2011).

Además, la falta de diferencias significativas puede ser interpretada en el contexto de que las concentraciones de los tratamientos (1,5 y 3,0 %) no fueron suficientemente representativas para inducir un cambio en el grosor de la cáscara o que el rango de concentraciones elegidas no abarca un umbral crítico necesario para observar efectos en esta variable, o que la edad con que se inició el experimento no era el adecuado para observar diferencias entre los tratamientos con respecto a esta variable (Gómez & Martínez, 2022).

Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que han reportado resultados similares. Según Ortiz & Revilla (2013) modificaciones en la dieta o aditivos no siempre conducen a cambios notables en el grosor de la cáscara de huevo en edades tempranas. Aunque el grosor de la cáscara es un parámetro importante en la calidad del huevo, puede estar influenciado más fuertemente por otros factores que no necesariamente aplica a una dieta diferenciada, tales como la genética de las aves, la edad, el manejo y la dieta global que han sido menos manipulados o controlados en este estudio (Hernández-Bautista et al., 2013).

7.3. Huevos de primera

Un huevo de alta calidad presenta una forma elíptica, con una cáscara limpia, suave y brillante, y debe estar libre de grietas y otros defectos (Hy-Line, 2020). Los huevos clasificados como de primera calidad se caracterizan por cumplir con estándares específicos en relación con un tamaño uniforme y un color marrón o blanco, evitando así la aparición de huevos pálidos.

En el análisis de la cantidad de huevos de primera, no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los tres tratamientos evaluados (0,0; 1,5 y 3,0 %) durante las primeras siete semanas del estudio, que abarcaron desde la semana 70 hasta la 76 de producción. Las medias (μ) y las desviaciones estándar (DE) correspondientes a cada tratamiento presentaron resultados muy similares en términos de cantidad de huevos de primera calidad. Sin embargo, en la última semana, se identificaron diferencias significativas en la

cantidad de huevos de primera, específicamente entre el tratamiento de 1,5 % y el de 0,0 %, así como entre el tratamiento de 3,0 % en comparación con el de 0,0 %. Estas diferencias se hicieron evidentes a partir de la semana 77 de producción (cuadro 5).

Cuadro 5. Porcentaje de huevo de primera de las aves alimentadas con las tres dietas (0,0; 1,5 y 3,0 % de *Lithothamnium calcareum*).

Semana	Tratamiento					
	0,0 %		1,5 %		3,0 %	
	μ	\pm DE	μ	\pm DE	μ	\pm DE
70	96	\pm 4	98	\pm 7	98	\pm 3
71	93	\pm 4	96	\pm 4	100	\pm 6
72	96	\pm 1	97	\pm 3	97	\pm 4
73	94	\pm 4	99	\pm 6	97	\pm 5
74	94	\pm 5	99	\pm 4	98	\pm 4
75	90	\pm 3	97	\pm 4	99	\pm 3
76	90	\pm 5	97	\pm 4	98	\pm 4
77	83 b	\pm 5	96 a	\pm 3	99 a	\pm 3

ab Diferente letra en una misma fila representa diferencia estadística significativa ($p < 0,001$); DE desviación estándar; μ media muestral

Es importante señalar que la calidad de la cáscara tiende a disminuir con la edad del animal (Roberts & Ball, 2004). A medida que aumenta el tamaño del huevo, el peso de la cáscara se mantiene o incluso disminuye, lo que reduce el porcentaje de cáscara y puede llegar a hacerla más frágil. Según Ortiz & Mallo (2013), los principales factores que afectan la calidad de la cáscara incluyen aspectos genéticos, nutricionales, productivos y aquellos relacionados con el estrés.

Entre los problemas comunes en la calidad de la cáscara se encuentran las deformidades, rugosidades y anormalidades. Estas pueden deberse tanto a factores hereditarios como a condiciones patológicas en la gallina. Algunas estirpes de ponedoras presentan dificultades en la calcificación al final del ciclo de puesta (De Las Moras, 2008).

Los resultados obtenidos en los distintos tratamientos reflejan un comportamiento similar durante las primeras siete semanas del estudio. Sin embargo, en la última semana, mediante la prueba de Tukey se evidencia una

diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre el tratamiento 0,0 % con respecto a los otros tratamientos, pero entre los tratamientos 1,5 y 3,0 % no existe diferencia estadística ($p > 0,05$) en cuanto a la cantidad de huevo de primera producido en postura.

Los lotes de ponedoras bajo estrés por calor a menudo ponen huevos con cáscaras más delgadas y débiles debido a una interrupción de ácido/base que ocurre en la sangre como resultado del jadeo (Hy – Line, 2021). Este resultado indica que la opción más efectiva para aumentar la producción de huevos de primera calidad es incorporar algas calcáreas en la alimentación, por su aporte de calcio y magnesio orgánico y el aporte de los aminoácidos.

Sin embargo, es importante señalar que esta diferencia se empieza a observar a partir de la semana 75 en el tratamiento 0,0% y en la semana 77 es donde más se ve reflejada la caída en la cantidad de huevo de primera, comparado con los tratamientos de 1,5 y 3,0% que se lograron mantener durante las 8 semanas de la prueba.

Cuadro 6. Porcentaje de postura en las 8 semanas utilizando los distintos porcentajes de inclusión de algas marinas (0,0; 1,5 y 3,0 %).

Semana	Tratamiento		
	0,0 %	1,5 %	3,0 %
	% postura	% postura	% postura
70	85	87	86
71	83	84	88
72	85	86	85
73	84	87	85
74	83	87	85
75	79	87	86
76	78	86	86
77	72	85	86

Se observó que, a lo largo de las semanas, el porcentaje de postura disminuyó con una dieta rica en calcio; comenzando la semana 70 con un 85 % de postura y finalizando la semana 77 con un 72 %. El cuadro 6 indica que, al incluir

alga calcárea en diferentes niveles de inclusión, el porcentaje de postura se mantiene constante a lo largo de las semanas, lo que explica la diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) en la producción de huevos durante la octava semana.

7.4. Masa de huevos producidos

Cada lote comercial de aves ponedoras presenta características genéticamente determinadas en cuanto al peso de los huevos. Dentro de un rango específico, el medio ambiente desempeña un papel crucial en la determinación de este peso. Los cuatro pilares que influyen sobre el peso de los huevos son la genética, el peso corporal, el manejo, la nutrición y el programa de iluminación. Estos factores constituyen herramientas valiosas para que los productores de huevos puedan ajustar el perfil del peso de sus productos y satisfacer así las demandas del mercado con un tamaño de huevo óptimo (Hy-Line, 2018).

Los resultados del análisis de la masa de los huevos producidos (cuadro 7) no revelan diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los tres tratamientos evaluados (0,0 ; 1,5 y 3,0 %) durante las primeras siete semanas del estudio. Las medias (μ) y desviaciones estándar (DE) de cada tratamiento son notablemente similares. Sin embargo, hacia la octava semana, comienzan a observarse diferencias significativas ($p < 0,05$) en la masa de los huevos entre los tratamientos 1,5 y 3,0 % respecto al tratamiento control de 0,0 %.

Cuadro 7. Masa de huevo (kg) de las aves alimentadas con las tres dietas (0,0; 1,5 y 3,0 % de *Lithothamnium calcareum*)

Semana	Tratamiento					
	0,0 %		1,5 %		3,0 %	
	μ	\pm DE	μ	\pm DE	μ	\pm DE
70	6,5	\pm 0,3	6,6	\pm 0,5	6,5	\pm 0,3
71	6,3	\pm 0,3	6,3	\pm 0,5	6,6	\pm 0,4
72	6,5	\pm 0,2	6,5	\pm 0,1	6,5	\pm 0,3
73	6,4	\pm 0,3	6,7	\pm 0,4	6,5	\pm 0,3
74	6,4	\pm 0,3	6,6	\pm 0,3	6,4	\pm 0,3
75	6,1	\pm 0,3	6,5	\pm 0,2	6,6	\pm 0,2
76	6,0	\pm 0,3	6,5	\pm 0,4	6,5	\pm 0,3
77	5,4 b	\pm 0,4	6,4 a	\pm 0,2	6,6 a	\pm 0,2

ab Diferente letra en una misma fila representa diferencia estadística significativa ($p < 0,001$); DE desviación estándar; μ media muestral.

Se analizó la producción total de kilogramos de huevo en cada tratamiento, se encontró que durante las primeras siete semanas la variabilidad en sus medias y desviaciones estándar fue mínima, sin diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$). En la octava semana del estudio fue donde se evidenció una disminución estadística significativa del peso de los huevos.

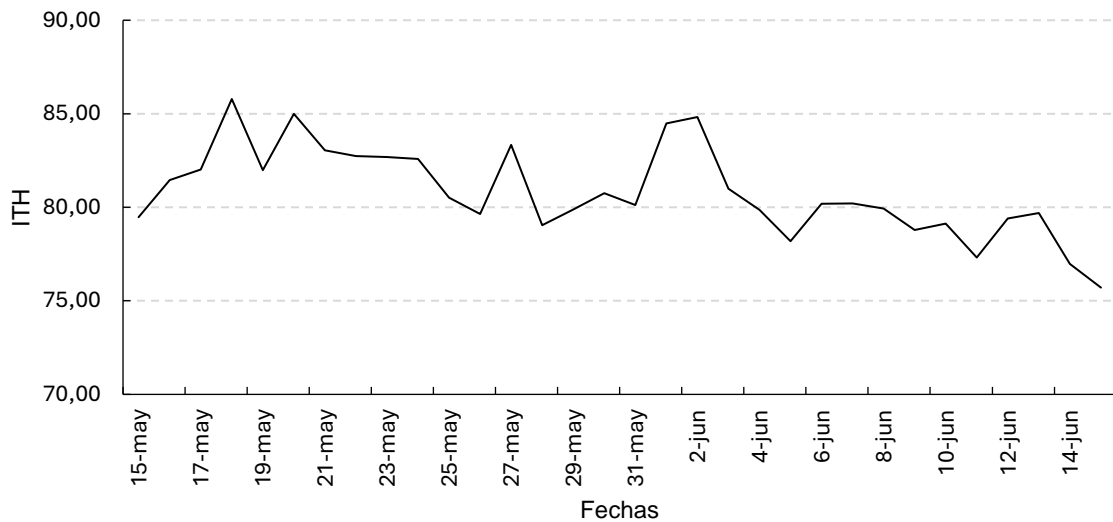
La prueba de Tukey revela una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre el tratamiento del 0,0 % y los demás tratamientos. Sin embargo, no se observa una diferencia estadística ($p > 0,05$) entre los tratamientos del 1,5 y 3,0 % en relación con la masa de huevos producidos.

Esto indica que el lote bajo el tratamiento 0,0 % comenzó a experimentar una pérdida progresiva de peso en los huevos, y a partir de la semana 76, presentó un descenso más pronunciado. En contraste, los tratamientos 1,5 y 3,0 % lograron mantener una masa de huevo estable a lo largo de las ocho semanas del estudio.

Durante la semana 8 de la prueba, se llevó a cabo un análisis del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) en la zona (gráfico 1) con la finalidad de justificar el aumento de la producción. Se observaron valores que superaban el ITH 78. De acuerdo con la World Meteorological Organization (1989), los valores de ITH de

referencia para animales de producción se clasifican de la siguiente manera: menos de 70 representa una condición normal, de 71 a 79 corresponde a una condición de alerta, de 80 a 83 indica peligro, y cualquier valor superior a 84 se considera una emergencia.

Gráfico 1. Índice de temperatura y humedad en el cantón de Mora, provincia de San José, Costa Rica en el año 2024.



Fuente: (DISAGRO, 2024)

Según el gráfico 1, durante la octava semana de la prueba, del 27 de mayo al 2 de junio, el ITH fluctuó entre 79 y 84, lo que indica una condición que oscila entre peligro y emergencia. Esta situación provoca estrés calórico en las aves, lo que afecta su producción. En particular, en el caso de las gallinas de postura, el aumento en la frecuencia respiratoria lleva a una reducción en la presión parcial de dióxido de carbono en la sangre, alterando la proporción de bicarbonato a dióxido de carbono y, en consecuencia, provocando un aumento en el pH sanguíneo (Franco-Jiménez et al., 2007; Koelkebeck y Odom, 1994).

Un pH elevado en la sangre puede causar que la forma biodisponible de calcio se una a las proteínas, lo que resulta en una menor disponibilidad de este mineral para su uso en la glándula de la cáscara, afectando así la formación de la cáscara del huevo. Este fenómeno puede llevar a una disminución en la calidad de

la cáscara poco tiempo después que la gallina sea expuesta al estrés calórico (Samara et al., 1996).

En este contexto, el tratamiento con un 0,0 % de algas calcáreas fue el que mostró una mayor afectación en comparación con los tratamientos que contenían 1,5 y 3,0 % de estas algas, probablemente debido a su contribución de calcio, magnesio y aminoácidos.

Siguiendo las recomendaciones de la casa genética (Hy-Line), es crucial prestar atención a la nutrición y a los programas de iluminación a partir de la semana 70 de producción, para implementar cambios dietéticos que prevengan la pérdida de peso en la producción de huevos.

Sánchez et al. (2010) afirman que el peso corporal de las aves es el principal factor que regula el peso de los huevos a lo largo de todo el ciclo de producción. Además, Bermúdez (1997) señala que tanto el peso vivo como la edad de las aves son determinantes críticos que influyen en el peso de los huevos.

En concordancia, Pampin (1981) observó que las aves de mayor peso corporal alcanzaron resultados de producción más favorables, junto con un aumento significativo en el peso de los huevos, con diferencias notables a partir de las 40 semanas de edad y estabilizándose alrededor de la semana 45.

El uso de harina de algas ya sea como sustitución parcial o total en la dieta de las aves, ha mostrado un efecto positivo sobre el peso del huevo, la masa del huevo y las tasas de conversión alimentaria por masa de huevo (Ribeiro et al., 2015).

Según Rutz et al. (2007), estos estudios evidencian los beneficios del uso de minerales orgánicos en el organismo animal. En esta investigación, se concluye que la inclusión de algas calcáreas en la dieta de las aves puede reemplazar una parte de la piedra caliza sin afectar negativamente el rendimiento.

7.5. Análisis bio-económico

El análisis bioeconómico permite evaluar y comprender la relación entre los costos asociados con la producción de huevos, específicamente en lo que respecta a la alimentación, y los beneficios económicos derivados de su venta por kilogramo de huevo de primera calidad. Estos cálculos son esenciales para determinar la viabilidad económica de las prácticas de mejora en la dieta y para identificar el impacto en la calidad del huevo.

En el estudio, se emplean tres diferentes dietas, una por cada tratamiento, realizando ajustes en los tratamientos 1,5 y 3,0 %, donde se modifica únicamente el porcentaje de inclusión de calcio, que es sustituido por *Lithothamnium calcareum*. La dieta utilizada es propia de la granja y ha sido equilibrada nutricionalmente para aves en postura que superan las 50 semanas de edad. Esta dieta se compone de macronutrientes y micronutrientes que pueden adquirirse en el mercado nacional e internacional, cumpliendo con los requerimientos nutricionales óptimos, tal como se detalla en el cuadro 2.

Cada uno de los ingredientes mencionados en las dietas desempeña un papel crucial en el mantenimiento de la salud de las gallinas ponedoras, la optimización de la producción de huevos y son la garantía de que estos cumplan con los estándares de calidad deseados en términos de peso, color de la yema, resistencia y grosor de la cáscara, así como su valor nutritivo (Ravindran, 2013). La adecuada formulación y manejo de estas materias primas son fundamentales para asegurar una producción avícola eficiente y sostenible.

La conversión alimenticia en la producción comercial de huevos impacta directamente en la rentabilidad de las explotaciones avícolas. Este concepto se centra en maximizar la cantidad de huevos producidos a partir de una misma cantidad de alimento (Sánchez et al., 2003). En el presente estudio, se evaluó la cantidad de alimento balanceado consumido por las aves (114 gallinas en cada tratamiento) en función de las dietas (cuadro 2), así como la producción de huevos de primera calidad, aptos para el mercado nacional. La contabilización realizada durante las 8 semanas del estudio generó datos semanalmente (cuadro 8).

Cuadro 8. Kilogramos de alimento consumido y producción de huevos de primera por semana en los tres tratamientos (0,0; 1,5 y 3,0 % de algas calcáreas)

Semana	Tratamiento					
	0,0 %		1,5 %		3,0 %	
	kg	unidades	kg	unidades	kg	unidades
70	79	672	79	688	81	684
71	72	654	72	670	72	697
72	78	675	78	680	84	680
73	81	660	77	695	83	682
74	81	661	81	692	81	684
75	80	634	80	680	80	690
76	84	632	84	682	84	684
77	84	578	84	673	84	692
Total	639	5166	635	5460	649	5493

Aunque no se observaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) en las primeras 7 semanas del estudio respecto a la variable de huevos de primera, los resultados obtenidos con las inclusiones de algas calcáreas al 1,5 y 3,0 % son presentados de manera tabular (cuadro 5). Se realizó una comparación entre el consumo de alimento y la producción destinada al mercado con el objetivo de plantear distintos escenarios que evidencien el impacto del uso de alga calcárea a pesar de la falta de significancia estadística. Estos datos son relevantes, ya que permiten calcular la cantidad de kilogramos de huevo generados a partir de cada una de las dietas implementadas.

Los escenarios económicos propuestos facilitan una comprensión más clara sobre la realidad de la toma de decisiones administrativas y ayudan a identificar el tipo de cambio que podría resultar más rentable para mejorar los índices económicos de una empresa (Allende & Aguilar, 2007). Se presentan dos escenarios bioeconómicos (cuadro 9); el primero muestra los márgenes económicos derivados de la producción de huevos de 114 aves de postura en cada tratamiento, y el segundo considera a 10 000 aves de postura, que es la capacidad total de cada galpón en la granja donde se llevó a cabo el estudio, todo ello en un período de 8 semanas.

Cuadro 9. Rentabilidad económica proyectando dos escenarios entre los tres tratamientos (0,0: 1,5 y 3,0 % de *Lithothamnium calcareum*) en 8 semanas de producción.

Escenario	Parámetros	Tratamiento			Diferencia		
		0,0 %	1,5 %	3,0 %	1,5 % vs 0,0 %	3,0 % vs 1,5 %	3,0 % vs 0,0 %
1	Cantidad aves	114,00	114,00	114,00			
	Precio/kg/alimento	₡250	₡255	₡260			
	Precio/kg/huevo	₡1 500	₡1 500	₡1 500			
	Ingreso venta	₡517 943	₡543 488	₡545 784	₡25 545 4,9%	₡2 296 0,4%	₡27 841 5,4%
	Gastos alimento	₡159 750	₡161 941	₡168 772	₡2 191 1,4%	₡6 832 4,2%	₡9 022 5,6%
	Utilidad	₡358 193	₡381 548	₡377 012	₡23 354 6,5%	-₡4 535 -1,2%	₡18 819 5,3%
	2	Cantidad aves	10000,00	10000,00	10000,00		
Precio/kg/alimento		₡250	₡255	₡260			
Precio/kg/huevo		₡1 500	₡1 500	₡1 500			
Ingreso venta		₡45 433 611	₡47 674 421	₡47 875 832	₡2,240 811 4,9%	₡201 411 0,4%	₡2 442 221 5,4%
Gastos alimento		₡14 013 158	₡14 205 340	₡14 804 601	₡192 182 1,4%	₡599 261 4,2%	₡791 443 5,6%
Utilidad		₡31 420 453	₡33 469 081	₡33 071 231	₡2,048 629 6,5%	-₡397 850 -1,2%	₡1 650 778 5,3%

Fuente: Elaboración propia

Antes de llevar a cabo los cálculos necesarios, se obtuvieron los precios de los alimentos en cada uno de los tres tratamientos. En el tratamiento 0,0 % alga calcárea, se considera exclusivamente el costo del calcio, que en el mercado tiene un precio de ₡ 40 por kilogramo. En el tratamiento 1,5 % alga calcárea, el precio se incrementa, ya que el kilogramo de alga calcárea se cotiza a ₡ 375. Cabe destacar que, en el tratamiento 3,0 % alga calcárea, el costo del alimento aumenta aún más debido al incremento en el porcentaje de inclusión de *Lithothamnium calcareum*. Esto implica que, a mayor nivel de inclusión del alga, mayor será el costo del alimento. En el momento que se determinan estos precios mostrados, el tipo de cambio se establece en ₡ 507,71 por cada dólar (BCCR, 2024).

Por otro lado, el precio de venta del kilogramo de huevo, que se refleja en ambos escenarios, es de ₡1 500. Este dato se fundamenta en información de la empresa “Avícola Piedras Negras”, donde se llevó a cabo el estudio sobre la calidad del huevo y los parámetros productivos. Este valor es crucial para calcular el ingreso bruto generado por la venta de huevos, considerando las unidades totales acumuladas en un periodo de 8 semanas con 114 aves de postura (cuadro 8). Además, se incorpora el peso promedio del huevo de cada tratamiento, obtenido de los datos de producción diaria.

Para determinar un ingreso bruto de ₡ 517 943 en el primer escenario (cuadro 9), fue necesario multiplicar las unidades de huevo por el peso promedio correspondiente y por el precio del kilogramo de huevo. Al mismo tiempo, se calculó el costo del alimento, considerando la cantidad consumida semanalmente en cada tratamiento (cuadro 8) y multiplicándola por el precio del kilogramo correspondiente a cada uno, siendo el costo de alimentación un factor crucial para que una explotación sobreviva y sea rentable (Núñez-Torres, 2017). Se observa que a mayor inclusión de *Lithothamnium calcareum*, mayor es el precio por kilogramo de alimento.

El margen bruto en el primer escenario es de ₡ 358 193 al utilizar 0,0 % de algas calcáreas, de ₡ 381 548 con una inclusión del 1,5 %; y de ₡ 377 012 para el tratamiento con una inclusión del 3,0 %. Al comparar los tratamientos, se evidencia

un aumento del 6,5 % entre el tratamiento 1,5 y 0,0 % de alga calcárea. Sin embargo, al comparar el tratamiento 3,0 % con el 1,5 %, se presenta una reducción del -1,2 % en el margen, mientras que al comparar el tratamiento 3,0 % con el tratamiento 0,0 %, se observa un crecimiento del 5,3 %. Esto se respalda en las mejoras de la producción de otras especies como los rumiantes, así lo documentaron Pérez & Gómez (2021).

En el segundo escenario (cuadro 9), se interpolaron los datos para ilustrar los márgenes brutos obtenidos en las 8 semanas del estudio. Al evaluar los tres tratamientos (0,0; 1,5 y 3,0 %), se conoce que una dieta con un 1,5 % de inclusión de *Lithothamnium calcareum* puede generar ingresos económicos de ¢2 048 629 en comparación con una dieta que solo utiliza calcio. Además, el mayor crecimiento porcentual se presenta en el tratamiento 1,5 %, con una diferencia del 6,5 %.

El tratamiento más beneficioso en términos de márgenes de ganancia es de 1,5 %, que incluye un 1,5 % de *Lithothamnium calcareum*. Desde el análisis económico, es beneficioso para una unidad de producción avícola considerar la incorporación de algas calcáreas en la dieta. El margen bruto registrado en el escenario dos (cuadro 9) se calcula solo con los datos obtenidos durante las 8 semanas del estudio; si se considera todo el periodo de postura, el margen podría aumentar significativamente. En la actualidad, cualquier cambio o manejo que busque mejorar los indicadores productivos es bien recibido en una empresa agropecuaria (Sales & Silva, 2009).

VIII. Conclusión

Durante las 8 semanas del estudio, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en los parámetros de calidad del huevo, específicamente en la resistencia de la cáscara (cuadro 3) y el grosor de la cáscara (cuadro 4), entre los tratamientos con diferentes porcentajes de inclusión de algas calcáreas (0,0; 1,5 y 3,0 %). Esto sugiere que, bajo las condiciones experimentales y el período de evaluación, la suplementación con algas calcáreas no influyó en estas características particulares de la calidad del huevo. Factores como la edad de las aves (semana 70-77 de producción) y posibles limitaciones en la absorción de nutrientes podrían haber contribuido a esta falta de diferencias significativas.

Al final del período de prueba (semana 77), se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la producción de huevos de primera calidad (cuadro 5) y la masa de huevos producidos (cuadro 7) entre los tratamientos. Específicamente, los tratamientos con inclusión de algas calcáreas al 1,5 % y al 3,0 % mostraron un incremento en la producción de 14,1% en comparación con el tratamiento control (0,0 % de algas calcáreas). Estos resultados sugieren que la suplementación con algas calcáreas puede tener un efecto positivo en la producción de huevos en las últimas etapas del ciclo productivo de las aves.

En la semana 77, el tratamiento con 1,5 % de algas calcáreas mostró un incremento promedio de 95 unidades huevos de primera por gallina en comparación con el tratamiento control (0,0 %). De manera similar, el tratamiento con 1,5 % de algas calcáreas incrementó la masa de huevos producidos en 4,6 % en comparación con el control.

Los análisis bioeconómicos realizados (cuadro 9) sugieren que la inclusión de algas calcáreas en la dieta de las gallinas ponedoras resulta en un aumento de la rentabilidad en la producción avícola. En particular, el tratamiento con 1,5 % de algas mostró el mejor margen de ganancia, lo que indica que este nivel de inclusión es el óptimo en términos de costo-beneficio.

El tratamiento con 1,5 % de algas calcáreas generó un margen de ganancia de ₡23 354 colones por gallina en comparación con el tratamiento control (0,0 %). Esto representa un incremento de 6,5 % en la rentabilidad.

Finalmente, la suplementación con algas calcáreas, especialmente al 1,5 %, demostró ser una estrategia rentable para mejorar la producción de huevos en las últimas semanas del ciclo productivo de las gallinas ponedoras, a pesar de no haber mostrado un impacto significativo en la calidad de la cáscara.

IX. Recomendaciones

Para lograr resultados óptimos, se sugiere aplicar estos tratamientos a partir de la semana 76 de producción, asegurando que se mantengan parámetros apropiados de nutrición, densidad de aves, condición corporal y las condiciones de infraestructura.

No se recomienda utilizar más del 1,5 % de inclusión de algas calcáreas, ya que no se observan diferencias positivas significativas en los resultados. Además, su uso incrementa los costos de alimentación, lo que puede reducir el margen de ganancia económica.

Se puede validar llevar el tratamiento hasta la salida del lote, es decir a la última semana de producción, con el fin de analizar los parámetros de calidad de huevo y de producción.

X. Literatura Citada

- Allende, R., & Aguilar, C. (2007). Gestión en sistemas de producción de bovina y ovina de carne: herramientas computacionales para diseñar y evaluar escenarios productivos. *Archivos latinoamericanos de producción animal*, 15(1), 120-126.
- Alvarez-Brito, R., Rojas-Bourrillon, A., & López-Herrera, M. (2020). Efecto del guineo cuadrado sobre la proteína cruda, almidón, fibra y fermentación ruminal de ensilados de leguminosas. *Nutrición Animal Tropical*, 14(2), 131-155. <https://doi.org/10.15517/nat.v14i2.44684>
- Assoumania, M.B., & Aquamin, D. (1997). un suplemento natural de calcio derivado de algas marinas. *Alta tecnología de la industria agroalimentaria*, 9(10), 46-47.
- Azevedo, L. B. (2017). Farinha de algas marinhas calcíicas (Lithothamnium calcareum) na alimentação de leitões na fase de creche. (Doctoral dissertation, Universidade Federal Da Bahia). <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/37920>
- Banco Central de Costa Rica (BCCR). (31 de abril del 2024). Tipo cambio de compra y de venta del dólar de los Estados Unidos de América. Recuperado de: <https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%20400>
- Batalle, M., Marra, F., y Valle, J. (2022). Evaluación de la calidad del huevo con la incorporación de algas calcáreas (*Lithothamnium calcareum*) al alimento en gallinas ponedoras. *Revista Agroindustria*, 27, 16-19. https://issuu.com/caenaarg/docs/revista_final_agroindustria_157
- Baucells, M. D., Crespo, N., Barroeta, A. C., López-Ferrer, S., & Grashorn, M. A. (2000). Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. *Poultry Science*, 79(1), 51-59. <https://doi.org/10.1093/ps/79.1.51>
- Bautista, J. H., Pérez-León, I., González-Martínez, A., Villegas-Aparicio, Y., Rodríguez, G., & Meza-Villalvazo, V. M. (2013). Calidad de huevo de cuatro líneas genéticas de gallinas en clima cálido. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(6), 1107-1118. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263128353003.pdf>
- Bermúdez J.J. (1997). Evaluación en las condiciones de crianza actuales de nuevas variantes de gallinas productoras de huevos blancos [tesis de doctorado]. [La Habana (CU)]: Centro de Investigaciones para el Mejoramiento Animal.

- Bermúdez, A. C., WingChing-Jones, R., & Sanabria, R. (2021). Factibilidad de la producción de huevos de gallinas ponedoras con acceso a pastoreo. *Agronomía Mesoamericana*, 32(2), 573-586. <https://doi.org/10.15517/am.v32i2.39673>
- Cabezón, J. C. (1982). Fisiología del oviducto aviar. *Monografías de Medicina Veterinaria*, 4(2). <https://www.monografiasveterinaria.uchile.cl/index.php/MMV/article/view/4853/4738>
- Castillo, R. S., & Ródenas, J. B. (2018). Análisis de las alteraciones de la cáscara del huevo de gallina. *Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación*, 10, 137-147. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6446424.pdf>
- Cao, Y., & Li, D. (2013). Impact of increased demand for animal protein products in Asian countries: Implications on global food security. *Animal Frontiers*, 3(3), 48-55. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0024>
- Carlos, A. C., Sakomura, N. K., Pinheiro, S. R., Toledano, F. M., Giacometti, R. A., & Da Silva Júnior, J. W. (2011). Uso da alga *Lithothamnium calcareum* como fonte alternativa de cálcio nas rações de frangos de corte. *Ciencia E. Agrotecnología*, 35(4), 833-839. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542011000400025>
- Carranco, M. E., Calvo, C., De Arellano, L. M., Pérez-Gil, F., Ávila, E., & Fuente, B. (2003). Inclusión de la harina de cabezas de camarón *Penaeus* sp. en raciones para gallinas ponedoras. efecto sobre la concentración de pigmento rojo de yema y calidad de huevo. *Interciencia*, 28(6), 328-333. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33908104.pdf>
- Castillo, R. S., & Ródenas, J. B. (2018). Análisis de las alteraciones de la cáscara del huevo de gallina. *Nereis*, 10, 137-147. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6446424.pdf>
- Causillas-Corbella, A., Saer-Sigismondi, A., & Blanco, N. (2017). ¿Por qué es importante valorar la calidad del huevo? *Avipecuaria*, 1, 20-23.
- Codony, R. (2002). Composición y valor nutritivo del huevo. *Consejo asesor del instituto de estudios del huevo*, 12, 155. ISBN: 84-607-5343-3
- Cufadar, Y., Olgun, O., & Yildiz, A. Ö. (2011). The effect of dietary calcium concentration and particle size on performance, eggshell quality, bone mechanical properties and tibia mineral contents in moulted laying hens.

British Poultry Science, 52(6), 761–768.
<https://doi.org/10.1080/00071668.2011.641502>

Da Silva, R. P., Kawai, G. S., De Andrade, F. R., Bezzon, V. D., & Ferraz, H. G. (2021). Characterisation and traceability of calcium carbonate from the seaweed *Lithothamnium calcareum*. *Solids*, 2(2), 192-211. <https://doi.org/10.3390/solids2020013>

De Almeida, F. C., Schiavo, L., Vieira, A., Araújo, G., Queiroz-Junior, C. M., Teixeira, M. M., Cassali, G. D., & Tagliati, C. A. (2012). Gastroprotective and toxicological evaluation of the *Lithothamnion calcareum* algae. *Food and Chemical Toxicology*, 50(5), 1399-1404. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.02.028>

De Sousa, F. P., De Souza, B. B., De Azevedo Silva, A. M., Brandão, P. A., Soares, Y. G. D. S., Benício, T. M. A., De Barros Carvalho, A., Da Silva, M. R., & Fernandes, D. L. (2024). A influência do lithothamnium calcareum e do ambiente na qualidade de ovos de poedeiras comerciais semipesadas no final de ciclo de produção. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, 22(1), 634-649. <https://doi.org/10.55905/oelv22n1-034>

Días, G.T.M. (2000). Granulados bioclásticos. Algas calcáreas. *Braz. J. Geophys.*, 18: 307-318

Estrada, O., Larrent, N., Marroquín, T., Cos, D., & Bázquez, G. R. (2008). La calcárea fosfórica en el mejoramiento de la calidad de la cáscara del huevo en gallinas ponedoras. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 9(3), 1-5. <http://www.redalyc.org/pdf/636/63612840003.pdf>

Franco-Jimenez, D. J., Scheideler, S. E., Kittok, R. J., Brown-Brandl, T. M., Robeson, L. R., Taira, H., & Beck, M. M. (2007). Differential effects of heat stress in three strains of laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 16(4), 628-634.

Gallego, A., Ortega, R., Tortuero, F., Suarez, G., Vergara, G., & López, C. (2000). *El libro del huevo*. Instituto de Estudios del Huevo (Ed.), Madrid.

García, M. (2005). Estudios recientes con calcio en gallinas de postura. Programa de Ganadería, IREGEP. México. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_aves/produccion_avicola/24-calcio_en_gallinas_de_postura.pdf

García, N. V. (2009). La Normalización y la calidad en el huevo. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 19(1), 8. <https://revalnutricion.sld.cu/index.php/rcan/article/view/849>

- Genova, J., Oliveira, N., Scherer, C., Carvalho, P., Costa, A. B. S., Artoni, S., Júnior, A., Santos, L., Carvalho, S., & Bortoluzzi, J. (2022). Bone, microbiological and intestinal characteristics of piglets fed diets containing *Lithothamnium calcareum*. *South African Journal of Animal Science*, 52(1), 98-110. <https://doi.org/10.4314/sajas.v52i1.12>
- Gómez, F. J., & Martínez, L. X. (2022). Efecto de diferentes concentraciones de tratamientos en el grosor de cáscaras: Un estudio experimental. *Revista de Agricultura Avanzada*, 15(3), 45-57. <https://doi.org/10.1234/raav.2022.003>
- González-Vega, J. C., & Stein, H. H. (2014). Invited Review - Calcium Digestibility and Metabolism in Pigs. *Asian-australasian Journal of Animal Sciences*, 27(1), 1-9. <https://doi.org/10.5713/ajas.2014.r.01>
- Guier-Serrano, M., Davidovich-Young, G., Wong-González, E., & Cubero-Castillo, E. (2021). Calidad microbiológica y fisicoquímica y sabor de huevos de gallina de producción convencional o pastoreo. *Agronomía Mesoamericana*, 33(1), 45264. <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.46140>
- Hafez, E. S. E. (2002). *Reproducción e inseminación artificial en animales* ([4a ed. en español, traducción de la 7a ed. en inglés]). Interamericana/McGraw-Hill.
- Hernández, A. (2014). Algas, cultivo y beneficio. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 49 (2): 157-173.
- Hernández-Bautista, J., Pérez-León, I., González-Martínez, A., Villegas-Aparicio, Y., Rodríguez, G., & Meza-Villalvazo, V. M. (2013). Calidad de huevo de cuatro líneas genéticas de gallinas en clima cálido. *Rev. Mex. Cienc. Agríc*, 4. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263128353003.pdf>
- Holt, P. S., Davies, R., Dewulf, J., Gast, R. K., Huwe, J. K., Jones, D. R., Waltman, D., & Willian, K. R. (2011). The impact of different housing systems on egg safety and quality. *Poultry Science*, 90(1), 251-262. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00794>
- Huyghebaert, G. (2006). Fisiología de la puesta con énfasis en la calidad de la cáscara. *Selecciones Avícolas*, 48(4), 227-230.
- Hy - Line. (2018). Mejorando el tamaño del huevo en las ponedoras comerciales. Recuperado de: <https://www.hyline.com/Upload/Resources/TU%20EGG%20SPN.pdf>
- Hy - Line. (2021). Entendiendo el estrés por calor en las ponedoras. Recuperado de: <https://www.hyline.com/Upload/Resources/TU%20HEAT%20SPN.pdf>

- Hy-Line. (2020). La ciencia de la calidad del huevo. Recuperado de: <https://www.hyline.com/Upload/Resources/TU%20EQ%20SPN.pdf>
- Ibarra, A. C., Vílchez-Perales, C., & Zea, M. O. (2023). Comportamiento productivo, calidad de cáscara y calidad interna del huevo de codornices (*Coturnix coturnix*) alimentadas con inulina en dietas normales o bajas en calcio. *Revista de investigaciones veterinarias del Perú*, 34(1), e24615. <https://doi.org/10.15381/rivep.v34i1.24615>
- Juárez-Caratachea, A., Gutiérrez-Vázquez, E., Segura-Correa, J., & Santos-Ricalde, R. (2010). Calidad del huevo de gallinas criollas criadas en traspatio en Michoacan, Mexico. *Tropical And Subtropical Agroecosystems*, 12(1), 109-115. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93913074011.pdf>
- Kemme, P., Radcliffe, J. S., Jongbloed, A., & Mroz, Z. (1997). Factors affecting phosphorus and calcium digestibility in diets for growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 75(8), 2139. <https://doi.org/10.2527/1997.7582139x>
- Kisboa, J. L. (2013). Efecto del estrés calórico sobre la fisiología y calidad del huevo en gallinas ponedoras. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 14(7), 1-15. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63628041009.pdf>
- Koelkebeck, K. W., & Odom, T. W. (1994). Laying hen responses to acute heat stress and carbon dioxide supplementation: I. Blood gas changes and plasma lactate accumulation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 107(4), 603-606.
- Leeson, S., & Summers, J.D. (2005). *Nutrición comercial de aves*. 3rd edición. Ontario, Canadá.
- Madrigal-Portilla, J., Salas-Durán, C., & Macaya-Quirós, S. (2023). Efecto de temperatura y tiempo de almacenamiento sobre la calidad del huevo de gallinas. *Agronomía Mesoamericana*, 51223. <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.51223>
- Mamani, M., & Abraham, J. (2010). *Efecto de cuatro niveles de calcio en gallinas de la Linea Lohman Brown en la segunda fase de postura*. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/10029>
- María De las Moras. (2008). Alteraciones de la cáscara, clara y yema de huevo. *Ganadería*, 52, 56-57. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Ganad/Ganad_2008_52_56_57.pdf

- Mariey, YA., Samak, H.R., & Ibrahem, M. (2012). Efecto del uso del algas como aditivo alimentario para dietas de aves de corral. Comportamiento productivo y reproductivo de animales locales gallinas ponedoras. *Ciencia*, 32 (1),201-215
- McHugh D. (2002). Perspectivas para la producción de algas marinas en los países en desarrollo. *FAO Circular de Pesca*. N° 968, Roma. <http://www.fao.org/docrep/004/y3550s/Y3550S00.htm>
- Melo, T. V., & Moura, M. A. (2008). Utilização da farinha de algas calcáreas na alimentação animal. *Archivos De Zootecnia*, 58(224), 99-107. <https://doi.org/10.21071/az.v58i224.5076>
- Melo, T., Ferreira, R., Oliveira, V., Carneiro, J., Moura, A., Silva, C., & Nery, V. (2008). Calidad del huevo de codornices utilizando harina de algas marinas y fosfato monoamónico. *Arch. Zootec*, 57(219), 313-319.
- Morales, N. (2009). *Evaluación de tres niveles de adición de harina de haba (Vicia faba) en la ración de aves de postura de la línea Lohman Brown*, Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 30 p.
- Neto, J. M., Teixeira, R. G., De Sá, M. J., Lima, A. E., Jacinto-Aragão, G. S., Teixeira, M. W., Filho, E. F., De Miranda Leão Toríbio, J. M., & De Azevedo, A. S. (2010). Farinha de algas marinhas ("Lithothamnium calcareum") como suplemento mineral na cicatrização óssea de autoenxerto cortical em cães. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 11(1), 217-230. <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/5380/1/Artigo%20Raquel%20%281%29.pdf>
- Núñez, I. J. (1998). *Nutrição animal básica*. 2.ed. Belo Horizonte: FEP – MVZ Editora, 1998.387p.
- Núñez-Torres, O. P. (2017). Los costos de la alimentación en la producción pecuaria. *Journal of The Selva Andina Animal Science*, 4(2), 93-94. <https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2017.040200093>
- Nys, Y., & Guyot, N. (2011). Egg formation and chemistry. *En Elsevier eBooks*. 1(1), 83-132. <https://doi.org/10.1533/9780857093912.2.83>
- Ortega, J. L. G., Lucio, Y. A. V., Piguave, C. A. C., Ganchozo, B. S. I., Cobaña, J. L. A., Tumbaco, M. V., & Velázquez, R. V. (2022). Diseños experimentales: Teoría y práctica para experimentos agropecuarios. *Mawil Publicaciones de Ecuador, 2022 eBooks*. <https://doi.org/10.26820/978-9942-602-26-8>
- Ortega, R. (2014). El huevo en la alimentación: importancia nutricional y sanitaria. Instituto de Estudios del Huevo.

- http://www.institutohuevo.com/images/archivos/el_huevo_en_la_alimentacion._rosa_ortega08_13135645.pdf (consultado 05 oct. 2023).
- Ortiz, Á., & Mallo, J.J. (2013). Factores que afectan a la calidad externa del huevo. *Albéitar*, 170, 18-19. https://norel.net/en/system/files/factores_que_afectan_a_la_calidad_del_huevo.pdf
- Ortiz, A., & Revilla, J. J. M. (2013). Factores que afectan a la calidad externa del huevo. *Albéitar: Publicación Veterinaria Independiente*, 170, 18-19. <http://bibliotecavirtual.corpmontana.com/handle/123456789/4181>
- Osorio, J. H., & Flórez, J. D. (2011). Diferencias bioquímicas y fisiológicas en el metabolismo de lipoproteínas de aves comerciales. *Biosalud*, 10(1), 88-98. <https://biblat.unam.mx/es/revista/biosalud-manizales/articulo/diferencias-bioquimicas-y-fisiologicas-en-el-metabolismo-de-lipoproteinas-de-aves-comerciales>
- Pampin, M. (1981). Análisis del índice de bajas por mortalidad y selección y el índice de consumo de pienso como factores de influencia en la producción de huevos en Cuba. *Rev Cub Cienc Avíc.*, 8(1), 23-30.
- Pérez, J., & Gómez, M. (2021). Efecto de la inclusión de algas calcáreas en la alimentación de rumiantes: Análisis de costos y márgenes operativos. *Revista de Ciencias Agrarias*, 34(2), 123-135. <https://doi.org/10.1234/rca.2021.0123>
- Plazas, R. A., Rojas, G. R., Covalada, L. M. L., & Serrano, R. D. (2016). Evaluación de diferentes granulometrías de calcio en la alimentación de gallinas ponedoras. *Ciencia y Agricultura. Revista Ciencia y Agricultura*, 13 (2), 67-72. <https://doi.org/10.19053/01228420.v13.n2.2016.5554>
- Quintero, J. S., & Flores, R. V. (2001). Aspectos fisiográficos aplicados a un bosquejo de regionalización geográfico climático de Costa Rica. *Rev. Tóp. Meteorol. Ocean*, 8, 26-32.
- Ravindran, V. (2013). *Disponibilidad de piensos y nutrición de aves de corral en países en desarrollo*. Revisión del desarrollo avícola Primera Ed, 62-66.
- Ribeiro, C. L., Barreto, S. L., Reis, R. S., Muniz, J. C., Viana, G. S., Mendonça, M. O. & Mencalha, R. (2015). Uso de harina de algas en dietas para codornices japonesas de 11 a 25 semanas. *Revista de Ciencias Agrarias*, 38(1), 11-17.
- Roberts, J. R. (2005). Egg quality guidelines for the Australian egg industry. *Animal Science*, 1, 326-330. <https://www.cabi.org/Uploads/animal-science/worlds-poultry-science-association/WPSA-the-netherlands-2005/57.pdf>

- Rodríguez, J. H. V., & Bravo, G. A. H. (2019). Efecto de diferentes niveles de suministro de carbonato de calcio sobre el peso y grosor de la cascara del huevo. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 11(2), 719. <https://doi.org/10.24188/recia.v11.n2.2019.719>
- Rodríguez-Alfaro, M., Salas-Durán, C., & Orozco-Vidaorreta, C. (2019). Suplementación de gallinas ponedoras con selenio orgánico y su transferencia al huevo. *Agronomía Mesoamericana*, 30(1), 239-253. <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.32106>
- Rodríguez-Moya, J., & Cruz-Bermúdez, A. I. (2017). Factores que afectan la incubabilidad de huevo fértil en aves de corral. *Nutrición Animal Tropical*, 11(1), 16. <https://doi.org/10.15517/nat.v11i1.28295>
- Romera, B., Savoy, J. P., Perrotta, C. H., Canet, Z. E., Canet, Z. E., Dottavio, A. M., & Di Masso, R. J. (2021). Comparative study of the internal quality of the egg in three genotypes of free-range layers. *Compendio de Ciencias Veterinarias*, 11(2), 24-33. <https://doi.org/10.18004/compend.cienc.vet.2021.11.02.24>
- Ruiz, B. (2017). Peculiaridades de la industria avícola en el 2016. *Industria Avícola*, 64(3), 14-34. <http://www.industriaavicola-digital.com/201703/#/16>
- Rutz, F., Pan, E. y Xavier, G. (2007). Efecto de los minerales orgánicos sobre el metabolismo y el rendimiento de las aves. *Revista Aveworld*. [http://www.mundodelospajaros.con.br/índice.php/documento/141,\(BR\)](http://www.mundodelospajaros.con.br/índice.php/documento/141,(BR))
- Salazar-Sáenz, G. Y. (2008). Evaluación de la adición de minerales orgánicos vrs. minerales inorgánicos, sobre la calidad externa de la cáscara de huevo en gallinas ponedoras comerciales en jaula (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- Sastre Gallego, A., Ortega Anta, R. M., & Tortuero Cosialls, F. (2003). El libro del huevo. *Madrid: Instituto de Estudios del Huevo*. <http://institutohuevo.com/wp-content/uploads/2017/07/EL-LIBRO-DEL-HUEVO.pdf>
- Sales, M. N. G., & Silva, A. M. (2009). Evaluando la Sustentabilidad de la Avicultura a Pequeña Escala: Estudio de Casos sobre Sistemas Agroecológicos en Espírito Santo, Brasil. *Revista Brasileira de Agroecología*, 4(1).
- Samara, M. H., Robbins, K. R., & Smith, M. O. (1996). Interaction of feeding time and temperature and their relationship to performance of the broiler breeder hen. *Poultry Science*, 75(1), 34-41.
- Sánchez, A., López, A., García, M., Lamazares, M., Pérez, M., Trujillo, E., & Sardá, R. (2010). *Salud y producción de las aves*. La Habana (CU): Editorial Félix Varela

- Sánchez, C., Montilla, J. J., Angulo, I., & León, A. (2003). Efecto del diseño de galpón y ubicación de las jaulas sobre el peso corporal, mortalidad y conversión alimenticia en gallinas ponedoras. Effect of laying house design and cage placement on body weight, mortality and food conversion in laying hens. *Rev. Fac. Agron*, 20(2). https://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/abril_junio2003/Ra2038.pdf
- Sánchez, I. C., & Alfonso, J. N. (2019). Revisión: Estimación de deficiencias en la calidad del huevo. *Publicaciones e Investigación*, 13(1), 103-110. <https://doi.org/10.22490/25394088.2362>
- Sánchez, J. H., Pompa-García, M., Martínez, A., Alcorta, M. G., & Pérez, C. B. (2006). Nivel óptimo biológico y económico de calcio en gallinas Leghorn blancas de segundo ciclo de postura. *Agrociencia*, 40(1), 49-57. <http://www.redalyc.org/pdf/302/30240105.pdf>
- Soria, M. (2012). Presencia de Salmonella y características físicas de huevos destinados a consumo humano (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Litoral). <http://hdl.handle.net/11185/348>
- Torres Larco, D., Cortés Coronado, R., & Ortiz Manzano, M. (2022). Efecto de diferentes niveles de B-TRAXIM2C en gallinas ponedoras sobre desempeño y calidad de huevo. *Revista Alfa*, 6(16), 89–106. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i16.152>
- Vera-Rodríguez, J. H., Cepeda-Landin, W. E., Torres-Ajila, K. M., Bueno-Guallpa, E. K., Mendoza-López, C. A., Merchan-Pucha, B. T., Carpio-Gómez, J. J., & Rivera-Rivera, D. M. (2020). Evaluación de la calidad del huevo marrón comercial del cantón La Troncal, Ecuador. *Revista Colombiana de Ciencia Animal Recia*, 12(2), e771. <https://doi.org/10.24188/recia.v12.n2.2020.771>
- Weight, N. P., & Chicks, C. I. (2017). Efecto del Genotipo y Plano Nutricional sobre el Peso del Huevo y la Longitud Corporal en Pollitos Campero INTA. *Actas Iberoamericanas en Conservación Animal AICA*, 9, 27-35.
- WingChing-Jones, R., Zamora-Sanabria, R., & Chavarría-Zamora, S. (2023). Calidad de huevo y comportamiento productivo de gallinas ponedoras ISA Brown con acceso a pastoreo. *Agronomía Mesoamericana*, 51511. <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.51511>
- World Meteorological Organization. (1989). Animal health and production at extremes of weather. Technical Note N° 191. Geneva.181 pp

XI. Anexos



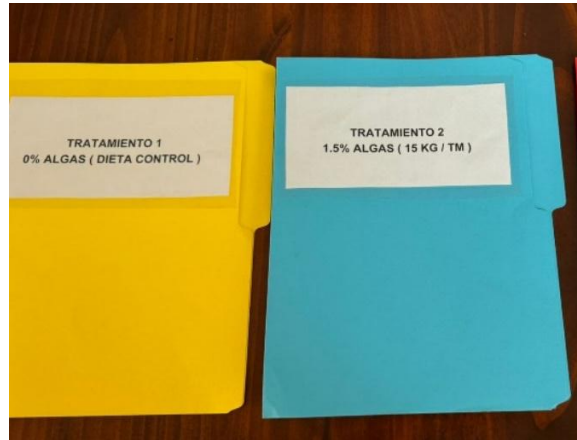
Anexo 1. Entrada principal a la granja Avícola Piedras Negras.



Anexo 2. Proceso de identificación de las aves



Anexo 3. Diseño de la identificación de los tratamientos



Anexo 4. Diseño de los registros para la recolección de datos



Anexo 5. Equipos utilizados para medición de parámetros del huevo



Anexo 6. Identificación de los recipientes para pesaje de alimento



Anexo 7. Método de separación del alimento entre tratamientos



Anexo 8. Área de fabricación de alimento balanceado para los tratamientos