

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE ESTUDIO DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



TESIS PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Inclusión de harina de semilla de achiote en dietas de gallinas
ponedoras sobre el color de la yema y producción del huevo

Área de Investigación:

Producción animal sustentable

Autor:

Corcuera Arréstegui, Sandra Celeste

Jurado Evaluador:

Presidente: Castillo Soto, Wilson Lino

Secretario: Rojas Paredes, Marco Antonio

Vocal: Eslava Ampuero, Irwing

Asesor: Ortiz Tenorio, Luis Abraham

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7990-814X>

TRUJILLO - PERU

2024

Fecha de sustentación: 2023/11/22

Corcuera Arréstegui, Sandra Celeste

INFORME DE ORIGINALIDAD

| | | | |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| 9% | 9% | 3% | % |
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet | 2% |
| 2 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 2% |
| 3 | zootecnia.ucr.ac.cr Fuente de Internet | 1% |
| 4 | www.revistas.unitru.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 5 | www.scielo.br Fuente de Internet | 1% |
| 6 | repositorio.chapingo.edu.mx Fuente de Internet | 1% |
| 7 | repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet | 1% |
| 8 | repositoriodspace.unipamplona.edu.co Fuente de Internet | 1% |

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Luis Abraham Ortiz Tenorio, docente del Programa de Estudio Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis de investigación titulada “Inclusión de harina de semilla de achiote en dietas de gallinas ponedoras sobre el color de la yema y producción del huevo en la Avícola Santos S.A.C – Pacasmayo de 60 a 67 semanas de edad”, autor Sandra Celeste Corcuera Arréstegui, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 9%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el 14 de octubre de 2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la tesis, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Trujillo, 14 de octubre del 2023

Asesor: Luis Abraham Ortiz Tenorio

Autor: Sandra Celeste Corcuera

Arréstegui

DNI: 27048968

DNI: 48722440

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7990-814X>

Firma:

Firma:



.....

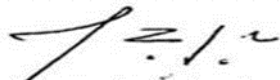


.....

La presente tesis ha sido revisada y aprobada
por el siguiente jurado:



Ing. Dr. Castillo Soto, Wilson
PRESIDENTE



Ing. Mg. Rojas Paredes, Marco
Antonio
SECRETARIO



MV. Mg. Eslava Ampuero, Irwing
VOCAL



MV. Mg. Ortiz Tenorio, Luis Abraham
ASESOR

DEDICATORIA

A mi familia, especialmente a mi madre Gloria, quien me ha brindado su apoyo durante todos los años de preparación en la universidad, en el tiempo de trabajo y desarrollo de la tesis. Gracias mama y familia, gracias por ayudarme a lograr mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mi familia por permanecer siempre a mi lado y brindarme su apoyo incondicional. Gracias por educarme en el estudio y por confiar siempre en mí.

A mi asesor Luis Abraham Ortiz por su apoyo como asesor de mi tesis, por su tiempo y paciencia para llevar a cabo este trabajo, también a los demás docentes que fueron partícipes durante mi formación en esta carrera universitaria.

A mis amigos y compañeros por ese golpe de energía, su apoyo y motivación.

ÍNDICE

Pág.

| | |
|--|-------------|
| DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD | ii |
| DEDICATORIA | iv |
| AGRADECIMIENTOS..... | v |
| ÍNDICE | vi |
| INDICE DE CUADROS | viii |
| INDICE DE FIGURAS | ix |
| INDICE DE ANEXOS | x |
| RESUMEN | xi |
| ABSTRACT..... | xii |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA | 3 |
| 2.1. Líneas avícolas de postura comercial | 3 |
| 2.1.1. Hy-Line Brown | 3 |
| 2.1.2. Isa Brown..... | 4 |
| 2.1.3. Babcock Brown..... | 5 |
| 2.2. Fisiología y reproducción de gallina | 6 |
| 2.3. El Huevo | 7 |
| 2.3.1. Composición del huevo..... | 8 |
| 2.3.2. Calidad del huevo | 8 |
| 2.3.3. Color de yema..... | 9 |
| 2.4. Pigmentos | 10 |
| 2.5. Tipos de pigmentos..... | 11 |
| 2.5.1. Pigmentos naturales o carotenoides:..... | 11 |
| 2.5.1.1. Maíz..... | 11 |
| 2.5.1.2. Rosa mosqueta | 12 |
| 2.5.1.3. Pimentón | 12 |
| 2.5.1.4. Alfalfa | 12 |
| 2.5.1.5. Bixa orellana..... | 12 |
| 2.5.2 Pigmentantes sintéticos..... | 13 |
| 2.6. Métodos para evaluar el nivel de pigmentación de la yema..... | 14 |

| | |
|--|-----------|
| 2.6.1. Colorímetro de Roche: | 14 |
| 2.6.2. Colorímetro DSM: | 14 |
| 2.6.3. Colorímetro DSM digital: | 15 |
| 2.7. Papel fisiológico de los carotenoides | 16 |
| 2.8. Fisiología del pigmentante | 16 |
| 2.9. Bixa orellana en gallinas de postura | 17 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 19 |
| 3.1 Lugar de ejecución | 19 |
| 3.2 Instalaciones | 19 |
| 3.3 Animales de estudio | 19 |
| 3.4 Alimentación..... | 19 |
| 3.5 Variable independiente..... | 21 |
| 3.6 Tratamientos | 21 |
| 3.7 Variable dependiente | 21 |
| 3.8 Análisis estadístico..... | 21 |
| V. RESULTADOS | 23 |
| 4.1. Producción de huevos..... | 23 |
| 4.2 Pigmentación de la yema de huevo | 24 |
| V. DISCUSION | 28 |
| 5.1. Produccion de huevos..... | 28 |
| 5.2. Pigmentacion de la yema del huevo | 28 |
| VI. CONCLUSIONES | 30 |
| VII. RECOMENDACIONES..... | 31 |
| VIII. BIBLIOGRAFÍA | 32 |
| IX. ANEXOS..... | 38 |

INDICE DE CUADROS

| | Pág. |
|--|---------------------------------------|
| Cuadro 1. Parámetros productivos de Hy Line Brown semana 18-90..... | 4 |
| Cuadro 2. Parámetros productivos de Isa Brown semana 18-90 | 5 |
| Cuadro 3. Parámetros productivos de Babcock Brown semana 18-90 | 5 |
| Cuadro 4. Partes del oviducto | 6 |
| Cuadro 5. Composición química del pigmento de la semilla de achiote..... | 132 |
| Cuadro 6. Composición porcentual y nutricional de dietas para gallinas ponedoras de la semana 60 a 67. | 19 |
| Cuadro 7. Efectos de la inclusión de semilla de achiote en los diferentes tratamientos sobre la coloración de la yema del huevo durante el periodo comprendido entre las semanas 60 a 63 de edad... .. | ¡Error! Marcador no definido.3 |
| Cuadro 8. Efectos de la inclusión de semilla de achiote en los diferentes tratamientos sobre la coloración de la yema del huevo durante el periodo comprendido entre las semanas 64 a 67 de edad. | 25 |

INDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|--|
| Figura 1. Abanico de Roche..... | 9 |
| Figura 2. Abanico colorímetro DSM..... | ¡Error! Marcador no definido. 3 |
| Figura 3. Colorímetro DSM digital Yolkfan | ¡Error! Marcador no definido. 4 |
| Figura 4. Transporte y deposición de carotenoides..... | 175 |
| Figura 5. Porcentaje de producción por cada tratamiento..... | 23 |
| Figura 6. Comparación del porcentaje de producción promedio entre cada tratamiento durante el lapso que abarca desde las 60 hasta las 67 semanas de edad..... | 24 |
| Figura 7. Nivel de pigmentación de yema del huevo (Escala DSM) por cada tratamiento. | ¡Error! Marcador no definido. |
| Figura 8. Nivel de coloración de yema de huevo (Escala DSM) según porcentaje de inclusión de harina de semilla de achiote. | 25 |

INDICE DE ANEXOS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Anexo 1. Resultados promedios de % de producción de huevos del tratamiento 0 desde la semana 60 a 67 según cada repetición. | 38 |
| Anexo 2. Resultados promedios de % de producción de huevos del tratamiento 1 desde la semana 60 a 67 según cada repetición. | 39 |
| Anexo 3. Resultados promedios de % de producción de huevos del tratamiento 2 desde la semana 60 a 67 según cada repetición. | 42 |
| Anexo 4. Resultados promedios de % de producción de huevos del tratamiento 3 desde la semana 60 a 67 según cada repetición. | 39 |
| Anexo 5. Medición del color de la yema del huevo con el equipo Yolxfan | 41 |
| Anexo 6. Abanico colorímetro DSM | 41 |

RESUMEN

El huevo debe ser de óptima calidad para satisfacer a la población y el color de la yema es un parámetro de calidad muy importante en la decisión de compra de los consumidores. Optimizar este nivel de color requiere el uso de costosos pigmentantes sintéticos; pero que a través de la formulación de dietas alimenticias se genera la posibilidad de uso de pigmentantes naturales. La presente investigación tuvo por objetivo evaluar la inclusión de harina de semilla de achiote (*Bixa orellana*) en la dieta de gallinas ponedoras de la línea Hy-line Brown y sus efectos en la producción total de huevos y en la coloración de la yema. La fase productiva del presente estudio se realizó en el distrito de San Pedro de Lloc, región de La Libertad, Perú con un total de 320 gallinas de edad de 60 semanas, distribuidas a través de un diseño DCA en 4 tratamientos con 5 repeticiones; siendo el grupo control (T0) una dieta sin inclusión de semilla de achiote, y los tratamientos experimentales T1, T2, T3 dietas con 0.5%, 1%; 1.5% de inclusión de semilla de achiote respectivamente; alimentadas por 7 semanas y con el manejo requerido en la explotación intensiva de gallinas ponedoras. La evaluación de la producción de huevos fue el promedio semanal como resultado del registro diario de producción. Para la coloración de la yema fueron evaluados 60 huevos semanales (3 huevos por 4 tratamiento por 5 repeticiones).

La inclusión de la semilla de achiote (*Bixa orellana*) en diferentes niveles en la dieta de las gallinas Hy-line Brown generó como resultados que en relación al porcentaje de producción de huevos no existiera diferencia significativa entre los diferentes tratamientos; y en relación a la coloración de la yema, el tratamiento T3 (1.5% semilla de achiote) fue el mejor con una valoración de color de 9 puntos, según el colorímetro DSM-Yolkfan; seguidos de los tratamientos T2 (8.52), T1 (8.06) y T0 (6.56) respectivamente. Se concluye con esta investigación que el uso de la harina de achiote en la dieta de las gallinas a una dosis de 1.5% tuvo una mejora significativa en la coloración de la yema de los huevos, y sin diferencia significativa en el porcentaje de producción de huevos.

Palabras clave: coloración de la yema, producción de huevos, pigmentantes sintéticos, pigmentantes naturales, achiote, *Bixa orellana*, gallinas.

ABSTRACT

The egg must be of optimal quality to satisfy the population and the color of the yolk is a very important quality parameter in the purchasing decision of consumers. Optimizing this level of color requires the use of expensive synthetic pigments; but through the formulation of diets the possibility of using natural pigments is generated. The objective of this research was to evaluate the inclusion of annatto seed flour (*Bixa orellana*) in the diet of laying hens of the Hy-line Brown line and its effects on total egg production and yolk color. The productive phase of the present study was carried out in the district of San Pedro de Lloc, region of La Libertad, Peru with a total of 320 hens aged 60 weeks, distributed through a DCA design in 4 treatments with 5 repetitions; The control group (T0) being a diet without inclusion of annatto seed, and the experimental treatments T1, T2, T3 diets with 0.5%, 1%; 1.5% annatto seed inclusion respectively; fed for 7 weeks and with the management required in the intensive exploitation of laying hens. The evaluation of egg production was the weekly average as a result of the daily production record. For yolk color, 60 eggs were evaluated weekly (3 eggs for 4 treatments for 5 repetitions).

The inclusion of annatto seed (*Bixa orellana*) at different levels in the diet of the Hy-line Brown hens generated the results that in relation to the percentage of egg production there was no significant difference between the different treatments; and in relation to the color of the yolk, treatment T3 (1.5% annatto seed) was the best with a color rating of 9 points, according to the DSM-Yolkfan colorimeter; followed by treatments T2 (8.52), T1 (8.06) and T0 (6.56) respectively. It is concluded with this research that the use of annatto flour in the diet of the hens at a dose of 1.5% had a significant improvement in the color of the yolk of the eggs, and without a significant difference in the percentage of egg production.

Keywords: yolk color, egg production, synthetic pigments, natural pigments, annatto seed, *Bixa Orellana*, hens.

I. INTRODUCCIÓN

La avicultura es considerada como uno de los sectores económicos más significativos en la economía de muchos países en el mundo, con un rápido crecimiento industrial y científico (FAO, 2020), su crecimiento en producción de carne y huevos ha tenido un crecimiento veloz, debiéndose a que son productos con un alto consumo y de costos accesible para la mayoría de personas, como también aporta variados nutrientes esenciales (Shad et al., 2014). Se estima que para el 2030 el consumo mundial de huevos será 94 745.81 miles de toneladas (OECD and FAO, 2021).

Debido a su alto valor nutricional en proteínas, minerales, vitaminas y ácidos grasos el huevo es una alternativa muy importante para la alimentación de las personas (Gharbi and Labbafi, 2018). En la actualidad se está considerando más allá del valor nutricional de los productos alimenticios, otros parámetros como, frescura, tamaño, color, limpieza, producción orgánica, entre otros. Viendo desde la perspectiva de productos orgánicos o productos naturales, se dice que son más saludables y equilibrados, por ende la demanda cada vez es mayor (Filipiak et al., 2017).

Referente al color de la yema de los huevos, estos representan un principal parámetro para la elección de compra de los consumidores (Berkhoff et al., 2020), se hacen reportes que este parámetro representa entre 40 a 60% en la elección de los huevos. Los consumidores estarían asociando el color de la yema con la calidad, salud y el tipo de alimentación que se le estaría brindando a la gallinas (Sánchez, 2013). Cabe recalcar que esta preferencia no se rige a nivel mundial si no que va en función a las diferentes culturas de consumo (Grashorn, 2016). Sin embargo los países con mayor consumo per cápita de huevos, son los que prefieren un color de yema amarillo dorado, además las panaderías y pastelerías también se rigen en esta característica porque otorga un color agradable a sus productos (Marounek and Pebriansyah, 2018).

Dado esta realidad, en la industria avícola se utilizan diferentes productos

pigmentantes (carotenoides), entre los más principales están el maíz (*Zea mays*), el gluten de maíz, la caléndula (*Calendula officinalis*) y la alfalfa (*Medicago sativa*) (Carranco et al., 2020), ya que contienen xantofilas, luteína y zeaxantina, pero en niveles menores, haciendo que no sean consistentes o suficientes para lograr un adecuada pigmentación. Esto trae consigo a que se utilicen pigmentantes sintéticos como cantaxantina y citranaxantina aprobados por la Unión Europea, pero resultan ser muy costosos, haciendo que los costos de alimentación se incrementen y reducen la rentabilidad (Marounek and Pebriansyah, 2018).

En tal sentido, se está buscando alternativas naturales para reemplazar estos pigmentos (Filipiak et al., 2017), una de las alternativas naturales es el achiote (*Bixa orellana*) (Martínez et al., 2021), una planta rica en carotenoides, alrededor del 4% al 5%, especialmente apocaroteno, antracina y pequeñas cantidades de isoantina y norantina. También contiene otros carotenoides, como betacaroteno, criptoxantina, luteína, zeaxantina, aurelina (Rincón et al., 2016).

Además es una planta rica en compuestos bioactivos como (saponinas, alcaloides y flavonoides), además se le atribuye efectos fisiológicos como actividad antibacteriana, antiinflamatoria, antialérgica, antiviral, anticancerígena, antioxidante, etc. (Rincón et al., 2016), por las distintas potencialidades que presenta esta planta dada vez más se está utilizando en la alimentación animal, como fitobiótico y pigmentante natural (Carranco et al., 2020).

Como se hace notar que el achiote tiene varias potencialidades por sus diferentes compuestos bioactivos y por su contenido de carotenoides, esta investigación tiene como objetivo principal el evaluar el efecto que tiene la inclusión de harina de semilla de achiote en la dieta de gallinas ponedoras sobre el color de la yema y producción del huevo.

II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

Las gallinas de postura se comercializan en líneas genéticas híbridas, en la mayoría de los casos estas llevan el nombre de las compañías que las están comercializando. Se ponen en venta las líneas de ponedoras de huevos blanco y de huevos de color. Las líneas de gallinas de huevos blancos, fueron creadas por el cruzamiento y selección de gallinas de la raza Leghorn. Mientras que las líneas de gallina de huevo de color, se crearon con genes Rhode Island Red o la New Hampshire. Algunas líneas comerciales más importantes son: Lohmann, Hy Line, De Kalb, Shaver (Hy-line international, 2017).

2.1. Líneas avícolas de postura comercial

2.1.1. Hy-Line Brown

Las gallinas ponedoras marrones Hy-Line son consideradas las gallinas ponedoras más equilibradas del mundo. Debido a que estas superan en poner 480 huevos de un color marrón oscuro durante el transcurso de 100 semanas, en donde, se considera que poseen un buen rendimiento, un buen comienzo temprano de la puesta y sobretodo presenta un tamaño de huevo óptimo.

Comenzando desde la primera semana a la número 17 la ponedora Hy-Line Brown ha logrado un peso corporal de 1.47 kg, en donde, su periodo de postura que iría desde la semana 20 a la semana 90, ha logrado alcanzar un porcentaje de producción entre el 94-96%, el cual es equivalente a producir entre 419 – 432 huevos (Hy-line international, 2017). En el cuadro N° 1 se detallan los parámetros productivos de las gallinas Hy-line Brown entre las semanas 18-90.

Cuadro 1. Parámetros productivos de Hy Line Brown entre las semanas 18-90.

| Descripción de parámetros | Unidad | Valor |
|--------------------------------|--------|---------|
| Masa del huevo del ave alojada | kg | 28.40 |
| Índice de la conversión | kg | 2.00 |
| Promedio del huevo | g | 64.20 |
| Consumo medio | g | 109.00 |
| Peso del organismo | g | 1980.00 |
| Viabilidad | % | 92.00 |
| Pico postura | % | 95.50 |
| Tiempo de vida 50% puesta | días | 140,00 |
| Nº de huevos | | 414.50 |
| Pigmento de la cascara | | 17.50 |
| Unidades haugh | | 79.30 |

Fuente: Hy-line international, 2017.

2.1.2. Isa Brown

Es una ponedora de referencia en todo el mundo desde hace más de tres décadas, la cual se encuentra adaptada a tanto a diferentes condiciones climáticas como ambientales. Esta ponedora es considerada como la más eficiente del mercado, ya que su producción de huevos es excelente y sobretodo de alta calidad. En el cuadro N° 2 se detallan los parametros productivos de las gallinas Isa Brown entre las semanas 18-90.

Cuadro 2. Parámetros productivos de Isa Brown entre las semanas 18-90.

| Descripción de parámetros | Unidad | Valor |
|--------------------------------|--------|---------|
| Masa del huevo del ave alojada | kg | 25.70 |
| Índice de la conversión | kg | 2.14 |
| Promedio del huevo | g | 62.90 |
| Consumo medio | g | 109.00 |
| Peso del organismo | g | 1970.00 |
| Viabilidad | % | 93.90 |
| Pico postura | % | 96.00 |
| Tiempo de vida 50% puesta | días | 114,00 |
| Nº de huevos | | 409,00 |
| Pigmento de la cascara | | 32,00 |
| Unidades haugh | | 82,00 |

Fuente: Hy-line international, 2017.

2.1.3. Babcock Brown

Las gallinas de la variedad Babcock Brown son conocidas por ser resistentes y altamente productivas en la producción de huevos grandes de alta calidad. Esta raza equilibrada demuestra un buen rendimiento en diversos tipos de climas y sistemas de manejo, y se caracteriza por su capacidad para mantener una excelente calidad de cáscara de huevo y conservación de los huevos. En el cuadro N° 3 se detallan los parámetros productivos de las gallinas Babcock Brown entre las semanas 18-90.

Cuadro 3. Parámetros productivos de Babcock Brown entre las semanas 18-90.

| Descripción de parámetros | Unidad | Valor |
|--------------------------------|--------|---------|
| Masa del huevo del ave alojada | kg | 26.60 |
| Índice de la conversión | kg | 2.13 |
| Promedio del huevo | g | 63.80 |
| Consumo medio | g | 114,00 |
| Peso del organismo | g | 2020.00 |
| Viabilidad | % | 94.00 |
| Pico postura | % | 96.00 |
| Tiempo de vida 50% puesta | días | 144.00 |
| Nº de huevos | | 417.00 |
| Pigmento de la cascara | | 17.50 |
| Unidades haugh | | 81.00 |

Fuente: Hy-line international, 2017.

2.2. Fisiología y reproducción de gallina

Considerando autores como Vera (2018) sostienen que en todas las especies de aves, se observa una particularidad en su sistema reproductivo: la ausencia de desarrollo en el oviducto y el ovario derecho debido a la falta de epitelio gonadal. Por otro lado, el oviducto izquierdo destaca por su amplitud, lo que es una característica relevante. A diferencia de los mamíferos, las aves presentan un sistema reproductivo que se centra en la ovulación, la oviposición y la incubación, sin incluir las fases foliculares o lúteas.

Los principales órganos reproductivos en las aves son el ovario y el oviducto izquierdo. A los 4 meses de vida del ave estos órganos llegan completamente desarrollados morfológica y funcionalmente (Martín, 2015).

Según Soler and Buesos (2017), la formación del huevo se lleva a cabo en 25 horas en un paso por diferentes partes y fases del oviducto del ave. Según Martín (2015) solo una pequeña cantidad de más de 4000 óvulos, que conforman el ovario izquierdo de una gallina pasara a crear la albumina y además divide el oviducto en diferentes partes como se observa en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Partes del oviducto

| Partes | Características | Referencias |
|-------------|---|-------------------------------|
| Infundibulo | Es la primera parte del oviducto con forma de embudo, en donde los folículos embrionarios originados durante la etapa de postura se eliminan con 40 milímetros de diámetro. Aquí permanece el ovulo-yema o vitelo aproximadamente 15 minutos. | (Casaubon, 2015) |
| Magnum | Es la parte del oviducto más larga y con más pliegues. Además, es aquí donde se forma la clara o albumen, por lo cual se afirma que el óvulo atraviesa esta parte por alrededor de 3 horas para ser cubierto por la albúmina. | (Casaubon, 2015) |
| Istmo | Es una pequeña parte donde se genera la membrana testácea interna y la cámara de aire del huevo. En esta parte se realiza el “plumpling”, donde el agua contenida en la clara se duplica, esto se produce hasta llegar al útero, en donde se agregarán sodio y fósforo. | (Casaubon, 2015) |
| Utero | Se caracteriza por tener forma de bolsa, es aquí donde se agrega calcio para formar y mineralizar la cáscara y la membrana testácea externa. | (Casaubon, 2015) |
| Vagina | Es la unión entre el útero y la cloaca del ave, su función principal es la protección y conservación del espermio. | (Ramírez, 2015; Martín, 2015) |

2.3. El Huevo

Se trata de un alimento que posee un alto valor nutricional, el cual se obtiene de un proceso natural. Más del 80% de huevos son destinados para el aprovechamiento nutricional de las personas (Huyghebaert, 2006), tiene valor económico y dispone

también de vitaminas liposolubles e hidrosolubles que el humano requiere en su nutrición (Jaramillo et al; 2018).

Hy-line international (2017) afirma que el huevo debe ser de forma ovalada, su cáscara sin ningún residuo y debe ser suave al tocarla y brillante. En Latinoamérica la cascara del huevo de su preferencia debe ser de color marrón uniforme o rosado.

Los consumidores desean que el huevo no presente defectos en la cáscara tales como deformaciones o grietas, pero según Martín (2015) los huevos con grietas o agujeros y dichas anomalías se caracterizan por tener una cáscara frágil y algunas de las razones por lo que esto sucede es por temperaturas altas, falta de calcio, aves viejas o enfermedades.

Según Hy-line international (2017) Es importante que la clara del huevo sea transparente, gelatinosa y que no contenga sangre ni suciedad, y sobretodo el color de la yema sea entre amarillo a naranja.

2.3.1. Composición del huevo

El huevo es muy nutritivo y permite producir vida desde que es fértil. El huevo se divide en cascara, yema y clara. La cascara es la que contiene el calcio, y significa el 9% del peso total del huevo, es la capa mas externa que cubre todo el huevo y en la parte interna del huevo se encuentra la yema, que sería la parte central del huevo, la cual contiene los lípidos del huevo y significa el 30 – 33 % de su peso total, es de color amarilla o naranja. Finalmente la clara o también llamada albumina es la que contiene la mayor cantidad de agua, el 88%, y las proteínas (Instituto de Estudios del Huevo, 2019).

2.3.2. Calidad del huevo

La calidad de los huevos, en términos de seguridad alimentaria y preferencias culturales de consumo, depende de diversos factores. Estos incluyen la calidad de la cáscara (su color y resistencia), la cantidad de albúmina, el tono de la yema, el nivel de limpieza, el tamaño, la uniformidad y la presencia de salmonela. Estos aspectos son de gran relevancia tanto para los productores como para los consumidores, como señala

Jaramillo et al. (2018).

2.3.3. Color de yema

En realidad, el color de la yema no tiene un impacto en el valor nutricional de los huevos. El color es una característica que se puede modificar al agregar colorantes al alimento de las gallinas, pero estos pigmentos no alteran la calidad nutricional de los huevos, sino que aumentan los costos de las dietas. La coloración de la yema del huevo guarda una estrecha relación con la presencia y distribución de carotenoides en el alimento y su absorción en el intestino (Rojas et al., 2015).

Un punto importante que deben tener en cuenta los productores de huevo es que ningún color de yema satisfará a todos los mercados, y esta elección suele estar determinada por diferencias geográficas y culturales (Grashorn, 2016).

La forma visual es la manera más práctica de identificar a los carotenoides que se encuentran en la yema. Se suele realizar una práctica con el llamado "Abanico de Color de Yema de DSM" o "DSM-YCF" para calificar por medio de niveles el color de la yema de los huevos (Schweigert et al; 2011).

Cabe mencionar que los métodos o procedimiento de análisis más comúnmente empleados incluyen el uso del "Abanico Colorímetro de Roche", que es una forma práctica y segura de determinar la coloración de la yema y tiene un costo accesible. Este método no solo evalúa la coloración de la yema si no también la del tarso del ave (Rojas et al., 2015).

En el caso de la escala de La Roche, la cual fue desarrollada por La Roche Vitamin Laboratories, es ampliamente reconocida y utilizada como la referencia principal. Esta escala establece una relación entre los diversos tonos de yemas de huevo y los asigna valores en una escala que varía de 1 a 15, lo que representa la intensidad de color desde el nivel mínimo hasta el máximo (Grashorn, 2016).

La figura 1 muestra el abanico de Roche con la escala de valores según el color de la yema.



Figura 1. Abanico de Roche

Fuente: Yang, 2020.

2.4. Pigmentos

En avicultura no es la excepción al igual que en los productos avícolas, en donde, se considere el color de la yema fundamental (Hernández, 2020). Debido a esto los productores agregan pigmentantes a las dietas de las aves para mejorar la tonalidad de la yema del huevo (Arnaiz, 2019) que al término será proporcional a la inversión realizada obteniendo recompensas económicas. El autor señala que los pigmentos son partículas químicas que pueden reflejar la luz visible, atravesarla o ambas a la vez. Lo que da color es la cuidadosa absorción de algunas longitudes de onda de luz y el reflejo de otras. La función principal del pigmentante es acelerar las reacciones químicas. Un ejemplo son los carotenoides que son una clase de pigmentos que contienen colores como amarillos, naranjas y rojos.

La incorporación de pigmentos a las dietas de las aves es una práctica común, ya sea para mantener, igualar o mejorar el color original de los huevos, o para hacerlos más atractivos visualmente. Existen dos categorías de colorantes utilizados por las avícolas,

como son los naturales y los sintéticos, los cuales presentan distintas propiedades y características (López, 2017).

2.5. Tipos de pigmentos

Los pigmentos pueden ser de origen natural o sintético, y su influencia en la coloración de la yema, la piel, los músculos o la grasa subcutánea varía según su aplicación.

2.5.1. Pigmentos naturales o carotenoides:

Estos son pigmentos naturales que se obtienen a partir de la concentración de harinas que contienen colorantes amarillos, como las xantofilas (provenientes de ingredientes como maíz, pétalos de caléndula y zanahoria), así como colorantes rojos (derivados de fuentes como crustáceos krill, pimientos y mosqueta) (Villagrán, 2014). Según Mendoza et al. (2017), los carotenoides tienen cualidades antioxidantes e inmunomoduladoras que favorecen la producción.

Los carotenoides pertenecen a una clase de colorantes liposolubles que varían en color desde amarillo menos intenso hasta rojo o naranja. Estos pigmentantes están conformados por dos grupos que son xantofilas (luteína, capsantina, zeaxantina, etc) y carotenos (alfacaroteno, betacaroteno, etc), y hoy en día en el mercado existen más de 600 tipos de carotenoides. Las mencionadas xantofilas tienen un efecto más importante en la coloración de la yema del huevo (Rojas et al., 2015).

2.5.1.1. Maíz

Los pigmentos principales en este contexto son la luteína (constituye el 54%), la zeaxantina (representa el 23%) y la criptoxantina (alcanza el 8%). La zeaxantina se destaca por ser altamente absorbible y se considera uno de los mejores colorantes gracias a su vibrante tonalidad naranja. Se necesita una cantidad de 14 mg de luteína por cada 1 kg de alimento para lograr una pigmentación adecuada cuando el único recurso de pigmentación es el maíz (Alzate et al., 2011).

2.5.1.2. Rosa mosqueta

Se ha utilizado como fuente de colorante en pollos de engorde y yemas de huevo. El pigmento amarillo anaranjado que los escaramujos aportan a las yemas de huevo es un importante factor de marketing (Alzate et al., 2011).

2.5.1.3. Pimentón

Se destaca por ser la capsantina como su principal pigmento. Al proporcionarse 35 mg de capsantina en 100 g de alimento como única fuente de alimento se logra obtener un color parecido a los que se venden en los mercados (Alzate et al., 2011).

2.5.1.4. Alfalfa

El principal pigmento carotenoide es la luteína, pero como su color es menos intenso, el efecto no es tan bueno como el de la zeaxantina. Por ende, para obtener una coloración de yema satisfactoria, se recomienda incluir entre un 15% y un 20% de polvo de alfalfa en la dieta (Alzate et al., 2011).

2.5.1.5. Bixa orellana

El achiote, conocido científicamente como *Bixa orellana*, es un arbusto que crece en las zonas más calurosas de América, incluyendo áreas con climas más lluviosos. Puede llegar a alcanzar una altura de hasta 1.5 m. Este arbusto produce frutos que se asemejan a cápsulas abiertas cuando están maduros. Dentro de estas cápsulas se encuentran semillas de aproximadamente 5 mm de longitud, las cuales tienen una pigmentación rojiza (Scartepa et al, 2019).

La cantidad de semillas que tiene es de 30 a 45, con un diámetro entre 3 a 4 mm de largo, están envueltas por "una membrana delgada de color blanco debajo de la cual, hay una cubierta de parénquima acuoso (bixina) que tiene un colorante" (Arce, 1983).

Oward et al. (1983) afirma que el más importante pigmento del achiote, derivado de los carotenoides, es la bixina, la cual representa el 80 % de los pigmentos presentes. Este colorante, en la actualidad, ha generado un gran interés debido a que no requiere de certificaciones y tiene la opción de ser utilizado tanto en la industria alimentaria como cosmética y farmacéutica a nivel nacional e internacional. El achiote contiene dos

pigmentos naturales: el annatto (en forma de extracto crudo), la bixina (soluble en lípidos) y la norbixina (soluble en agua).

Además es unas plantas ricas en compuestos bioactivos como (saponinas, alcaloides y flavonoides), además se le atribuye efectos fisiológicos como actividad antibacteriana, antiinflamatoria, antialérgica, antiviral, anticancerígena, antioxidante, etc, de tal manera que se puede utilizar como pigmentante natural o como fitobiótico (Rincón et al., 2016). En el cuadro N°5 se muestra la composición química de su semilla.

Cuadro 5. Composición química del pigmento de las semillas de achiote.

| Composición | (g/100g)¹ |
|--------------------|-----------------------------|
| Proteínas | 12.30 – 13.20 |
| Pectina | 0.23 |
| Carbohidratos | 39.91 – 47.90 |
| Ceniza | 5.44 – 6.92 |
| Taninos | 0.33 – 0.91 |
| Pentosas | 11.35 – 14.97 |
| Carotenoides | 1.21 – 2.30 |
| B-carotenos | 6.80 – 11.30 mg |

¹g/100g: gramos por cada 100 gramos de pigmento de semilla de achiote.

Fuente: Pineda et al., 2012.

2.5.2 Pigmentantes sintéticos

Actualmente, se han desarrollado varios pigmentos sintéticos, siendo los más destacados los siguientes: Lutenal, Carophyll, la B-apo-8'-carotenal (Bac), la cantaxantina y la zeaxantina, además del , Éster etílico del ácido β -apo-8'-carotenoico (Bace) (Alzate et al., 2011).

2.6. Métodos para evaluar el nivel de pigmentación de la yema

2.6.1. Colorímetro de Roche:

Es una forma rutinaria muy aceptada por la cadena alimentaria y es confiable. Cada abanico presenta unos colores que representan a la yema y que fueron medidos anteriormente.

2.6.2. Colorímetro DSM:

Es una técnica simple y consistente. Para ello se tiene que contar con una base blanca, que no refleje para eliminar la influencia de colores. Tiene que utilizarse luz del día y no luz artificial.

Mediante las aspas del DSM se clasificar la yema del huevo en 16 colores diferentes. Estas aspas deben ponerse por encima de la yema el huevo mirando verticalmente desde arriba, con los números de aspa hacia abajo y la yema entre las puntas del aspa. El lector tiene que colocarse al costado de la hoja sin números y enseñar el número al asistente que será el que registre. Lo ideal es que el abanico se oculte para que no se confunda con la siguiente medición. También es importante saber que las mediciones de las series experimentales debe ser hecha por el mismo observador. La serie debe comprender entre 4 y 15 huevos que se tendrán que evaluar uno por uno (DSM, 2023).

La figura 2 muestra el abanico colorímetro DSM desde el número 1 al 16 que viene a ser la escala de valores según el color de la yema.



Figura 1. Abanico colorimetro DSM.

Fuente: DSM, 2023.

2.6.3. Colorimetro DSM digital:

El DSM digital, registrado como Yolkfan, es un aparato que mide el color de la yema de forma objetiva. Tiene sensores led potencialmente sensibles y además con su propia fuente de luz que permite que el color de la yema sea evaluado sin ningún tipo de intromisión de luz. Los resultados obtenidos se escanean y se pueden ver después de conectarse a través de cualquier celular o Tablet por medio de Bluetooth. Es fácil de trasladar, de bolsillo y se puede limpiar con facilidad (Valdivieso, 2020).

La figura 3 muestra el abanico colorimetro DSM y equipo Yolkfan digital conectado a bluetooth del celular.



Figura 2. Colorímetro DSM digital Yolkfan.
Fuente: Ruiz, 2021.

2.7. Papel fisiológico de los carotenoides

Los carotenoides, además de actuar como pigmentos naturales, desempeñan un papel esencial en la síntesis de la vitamina A. De los más de 600 carotenoides conocidos en la actualidad, alrededor de 50 están involucrados en la formación de esta vitamina. El más significativo de todos ellos es el β -caroteno.

Se han realizado múltiples investigaciones que indican que los carotenoides han logrado beneficiar el bienestar de las aves al actuar como antioxidantes y al potenciar su sistema inmunológico (Ninahualpa, 2018).

2.8. Fisiología del pigmentante

Cabe indicar que el colorante está en forma de ácidos grasos que mediante un proceso de saponificación (transformación de grasas a jabón), estos se convierten en biodisponibles y son absorbidos por el tracto digestivo pasando después a la sangre, siendo metabolizado por el hígado y finalmente colocándose en la epidermis o yema del huevo. Al producirse esta saponificación este proceso gana efectividad a nivel del intestino ya que aquí, la absorción de los pigmentantes es en forma libre y no esterificada natural. El duodeno y el yeyuno se encargan de la absorción, en estos lugares el tiempo de tránsito es corto (Solla, 2018). Según Aureli et al (2014) la cantidad de pigmento

depositado está relacionada con la cantidad de pigmento añadida a la dieta.

La figura 4 muestra el proceso del transporte y deposición de los carotenoides.

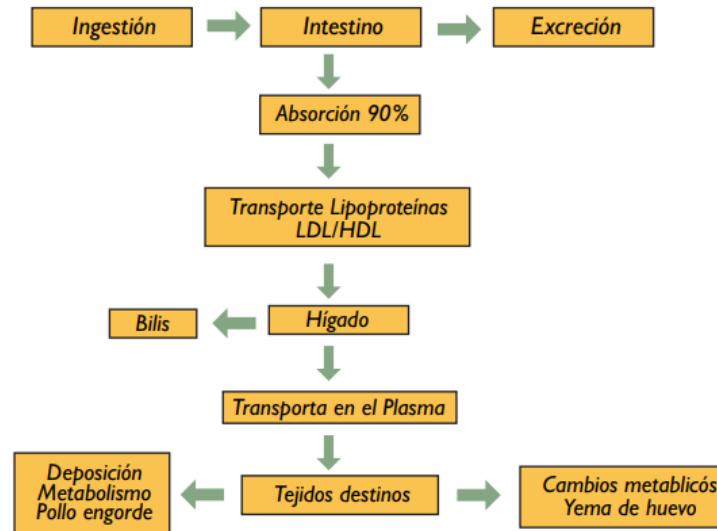


Figura 3. Transporte y deposición de carotenoides.

Fuente SoyaNotas, 2016.

2.9. *Bixa orellana* en gallinas de postura

Braz et al. (2007) llevó a cabo un estudio que evaluó varias variables, como la conversión alimenticia, el % de producción, el peso y la masa de los huevos, el consumo de alimento, el porcentaje de cáscara, yema y albúmina, así como las unidades Haugh. Se observó que estas variables no se vieron afectadas por las diferentes cantidades de semilla de achiote incluidas en la dieta. Sin embargo también se pudo ver que a medida que se añadía en proporción la semilla de achiote en la alimentación de las gallinas también crecía linealmente el color de la yema del huevo. La inclusión del 2% de la semilla de achiote en la alimentación de las aves que tenían una dieta en base a sorgo logró un nivel de pigmentación en las yemas equivalente al 61,40% de la pigmentación obtenida con dietas basadas en maíz.

Según Silva et al (2006), se aconseja incluir hasta un 12% de semilla de achiote en alimentos que contengan sorgo, como una fuente principal energética para influir y dar mejor resultado en cuanto a producción de huevos y pigmentación de la yema.

Varios estudios realizados por diferentes autores concluyen en sus investigaciones (Rojas et al., 2015) que el uso de Bixa orellana en la alimentación balanceada de las gallinas ponedoras es efectivo. Se emplearon cantaxantina y extracto de achiote en el alimento equilibrado de las gallinas en el rango de edad de 34 a 45 semanas, con una incorporación de 30-60 g/tm de cantaxantina y extracto de achiote (T0: grupo control, T1: T0 + 30 g. de cantaxantina y extracto de achiote, T2: T0 + 60 g. de cantaxantina y extracto de achiote). Como resultado, se logró una coloración de la yema calificada como 6, 9 y 12 según la escala de La Roche, y una vida útil en anaquel a una temperatura de 7 grados Celsius de 81, 86 y 90 UH, respectivamente.

Martínez et al. (2021) baso su investigación en el efecto que genera la incorporación de 0.50, 1.0 y 1.50% de semillas de achiote en polvo en la alimentación balanceada de las gallinas ponedoras Dekalb White en la semana 38 de edad. Los resultados obtenidos fueron que la dosis con mayor efecto sobre la coloración de la yema, peso del huevo, unidad Haugh, el grosor de la cáscara, altura de la albúmina fue el tratamiento con 1.50% de inclusión. La suplementación dietética de polvo de semillas de achiote tiene efecto positivo en las características externas e internas del huevo con énfasis del color de la yema.

Saldanha et al. (2009) observaron un efecto lineal significativo del uso de 1 y 2 % de achiote en alimentos para ponedoras con 50% de reemplazo de maíz por sorgo sobre la tonalidad de la yema. Los valores de la pigmentación de la yema estimados fueron 7,68 y 8,52 para los niveles de 1 y 2% de achiote.

Sarmiento et al. (2018), examinaron cuatro tipos de pigmentantes naturales, que incluyeron achiote (Bixa Orellana) en un rango de 1-2%, betarraga (Beta vulgaris) en 1-2%, moringa (Moringa oleífera) en 3%-5%, y pimentón (Capsicum annum) en 1-3%. Los resultados demostraron que los pigmentantes de pimentón y achiote produjeron una pigmentación superior en la yema del huevo, alcanzando valores de 9 a 10 en la escala de La Roche.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de ejecución

Esta investigación realizó su etapa experimental en la Avícola Santos S.A.C – Pacasmayo, la cual se encuentra en el distrito de San Pedro de Lloc - Asentamiento Humano Chocofan región de La Libertad, Perú (-7°38'51S-79°49'14W), con característica de temperatura aproximada de 24°C en invierno y 32°C en verano, una humedad relativa de 82%. La fase de laboratorio se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional de Trujillo – Perú.

3.2 Instalaciones

Los galpones estaban contruidos de madera y techos de manta negra recubierta con brea. Las jaulas donde se alojaron las gallinas fueron de forma piramidal de dos niveles y acondicionados con bebederos tipo niple, cada jaula tenía la capacidad para albergar hasta 8 gallinas. Se utilizaron 40 jaulas en total.

3.3 Animales de estudio

Se utilizaron 320 gallinas de la línea Hy-line brown de 60 semanas de edad, las cuales se distribuyeron en 40 jaulas, a razón de 8 aves por jaula, alimentándose y manejándose según los requerimientos del manual de la línea.

3.4 Alimentación

El alimento utilizado en el estudio fue diseñado específicamente para satisfacer las necesidades nutricionales de las aves, siguiendo las recomendaciones de la guía nutricional de la línea Hy-line Brown y las tablas de referencia de Hy-line 2019.

Las aves fueron alimentadas al día, en donde, la composición de las dietas utilizadas en la investigación fueron las que se visualizan en el cuadro 6.

Las cantidades y la composición nutricional del alimento balanceado para las gallinas ponedoras Hy-line de 60 semanas variaron según el tipo de semilla de achiote utilizada.

Cuadro 6. Composición porcentual y nutricional de dietas para gallinas ponedoras de la semana 60 a 67.

| Ingredientes ¹ | Tratamientos ² | | | |
|---|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | T0 | T1 | T2 | T3 |
| Maíz grano 8% | 58.00 | 58.00 | 58.00 | 58.00 |
| Polvillo de arroz | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 |
| Torta de soya boliviana | 18.59 | 18.59 | 18.59 | 18.59 |
| Soya integral boliviana | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 |
| Lysina | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| Metionina | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 |
| Treonina | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| Carbonato de calcio | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 |
| Sal común | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| Fosfato dicálcico (Phosbic) | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| Premezcla (rovimix) | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| Secuestrante de micotoxinas (klinofeed) | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| Bicarbonato de sodio | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| Fitasa (quantum blue) | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| Semilla de achiote | 0.00 | 0.50 | 1.00 | 1.50 |
| Biocolina | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| Valor nutritivo³ | | | | |
| Proteína Bruta | 16.16 | 16.16 | 16.16 | 15.88 |
| Energía Metabolizable Aves (kcal) | 2772.90 | 2772.90 | 2772.90 | 2758.79 |
| Lisina digestible aves | 0.78 | 0.78 | 0.78 | 0.76 |
| Metionina digestible aves | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 0.40 |
| Met + Cisteína digestible aves | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.63 |
| Treonina digestible aves | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.57 |
| Triptófano digestible aves | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
| Arginina digestible aves | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.93 |
| Valina digestible aves | 0.66 | 0.66 | 0.66 | 0.65 |
| Isoleucina digestible aves | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.57 |
| Leucina digestible aves | 1.31 | 1.31 | 1.31 | 1.29 |
| Calcio | 4.53 | 4.53 | 4.53 | 4.53 |
| Fósforo disponible | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.64 |
| Sodio | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| Potasio | 0.69 | 0.69 | 0.69 | 0.67 |
| Cloro | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| Ácido linoleico | 1.73 | 1.73 | 1.73 | 1.72 |
| Balance electrolítico (meq/kg) | 201.95 | 201.95 | 201.95 | 199.23 |
| Materia seca | 92.79 | 92.81 | 92.81 | 92.04 |

¹Composición de nutrientes según guía Hy-line (2019).

²T0: dieta base sin semilla de achiote, T1: dieta base + semilla de achiote al 0.5%, T2: dieta base + semilla de achiote al 1 %, T3: dieta base + semilla de achiote al 1.5%.

³Requerimientos recomendados basado en Hy-line (2019).

3.5 Variable independiente

Harina de semilla de achiote.

3.6 Tratamientos

Se empleó un grupo de 320 aves pertenecientes a la línea Hy-line Brown con una edad de 60 semanas, divididas en 4 tratamientos, cada uno con 5 repeticiones.

T0: dieta base sin semilla de achiote

T1: dieta base + semilla de achiote al 0.5%.

T2: dieta base + semilla de achiote al 1 %.

T3: dieta base + semilla de achiote al 1.5%.

3.7 Variable dependiente

a) Producción de huevos (%)

Se midió desde la primera semana 60 hasta la última semana 67, se realizó el conteo por jaula, para poder obtener el porcentaje semanal de producción de huevos, se aplicó la siguiente fórmula:

$$PD = \frac{\text{Número de huevos producido}}{\text{Número de gallinas por tratamiento}} \times 100$$

b) Color de Yema:

Se midió mediante el aparato Yolkefan y el abanico DSM. Estos datos fueron registrados tomando semanalmente muestras de 60 huevos totales (3 muestras por repetición (5) por tratamiento(4)) al azar durante toda la investigación.

3.8 Análisis estadístico

En la presente investigación se ha utilizado como diseño estadístico el Diseño Completamente al Azar (DCA), que consistió en cuatro tratamientos con cinco repeticiones. En donde, el grupo experimental se conformó por 16 aves que fueron

distribuidas de manera aleatoria. El modelo lineal aplicado en un DCA es el siguiente:

$$y_{ij} = u + t_i + e_{ij}$$

Donde:

y_{ij} = Observación de la variable.

u = corresponde al promedio de la población.

t_i = mide el efecto del nivel de harina de semilla de achiote en la dieta.

e_{ij} = mide el efecto aleatorio del error.

Se evaluó la variable de producción de huevos mediante un análisis de varianza, mientras que la variable de coloración de la yema se analizó utilizando un análisis de varianza de regresión. Para comparar las medias entre los grupos, se aplicó la prueba de Tukey.

V. RESULTADOS

4.1. Producción de huevos

La figura 5 muestra el porcentaje promedio de producción de huevos de cada tratamiento, de la semana 60 a la 67, donde se muestra que no ha habido diferencia estadística significativa entre los diferentes tratamientos. Se puede inferir que el uso de semilla de achiote no afecta la producción de huevos. No existe diferencia significativa entre tratamientos ($p > 0.05$).

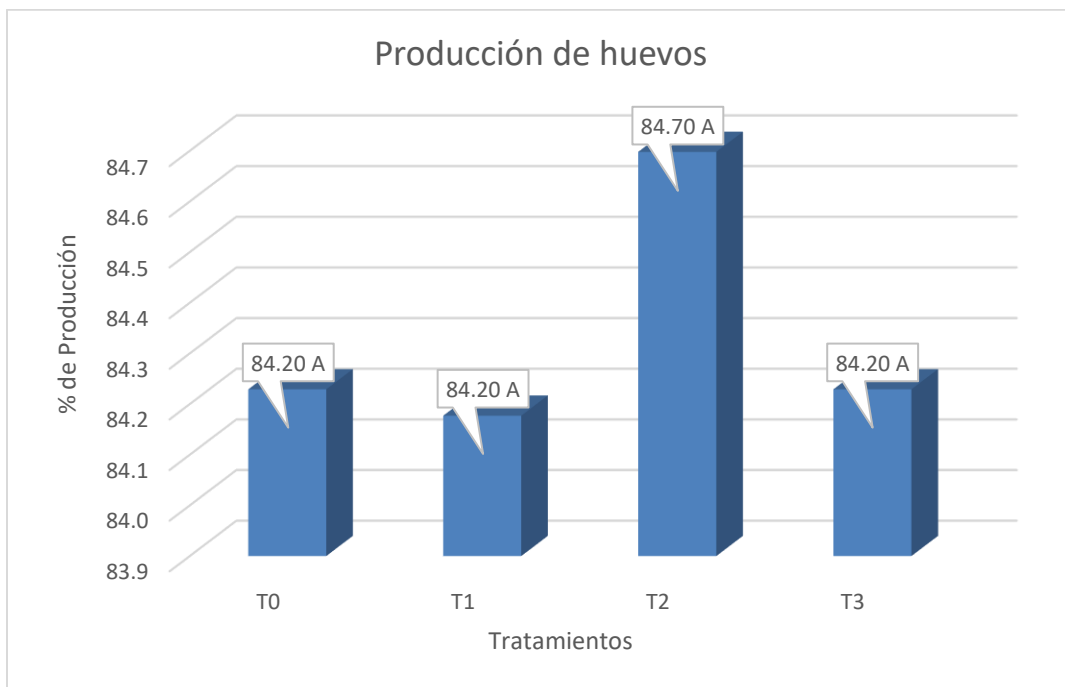


Figura 4. Efectos de la inclusión de semilla de achiote en los diferentes tratamientos sobre el porcentaje promedio de producción de huevo durante el periodo comprendido entre las semanas 60 a 63.

La figura 6 muestra los porcentajes promedios de producción de los tratamientos, durante las semanas 60 a 67, donde se observa que a medida que pasan las semanas van disminuyendo de manera casi consistente.

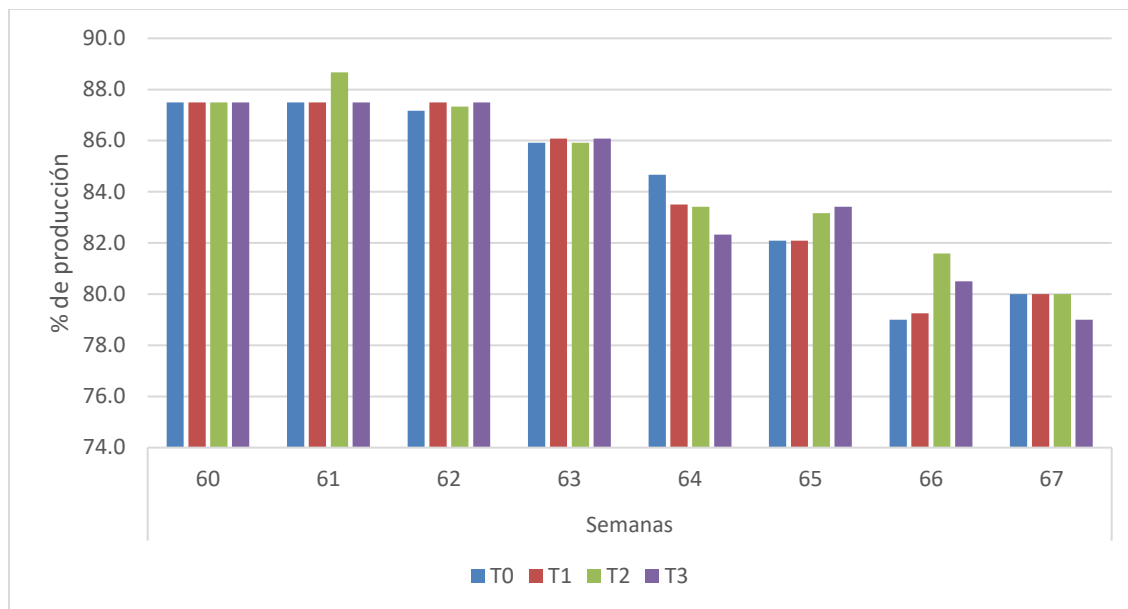


Figura 5. Comparación del porcentaje promedio de producción entre cada tratamiento durante el lapso que abarca desde las 60 hasta las 67 semanas de edad.

4.2 Pigmentación de la yema de huevo

En lo que respecta a la tonalidad de la yema del huevo, en los cuadros 7 y 8 se observa una diferencia significativa ($p < 0.05$). El tratamiento T3 mostró un mejor resultado en comparación con los otros tratamientos. Del mismo modo todos los tratamientos que usaron la harina de semilla de achiote tuvieron diferencia significativa sobre el tratamiento control (cuadro 7 y cuadro 8).

Cuadro 7. Efectos de la inclusión de semilla de achiote en los diferentes tratamientos sobre la coloración de la yema del huevo durante el periodo comprendido entre las semanas 60 a 63 de edad según la escala DSM¹.

| Tratamientos ² | Edad en semanas | | | |
|---------------------------|-----------------|-------|--------|--------|
| | 60 | 61 | 62 | 63 |
| T0 | 6.20b | 6.26b | 6.60c | 6.54c |
| T1 | 6.88ab | 7.40a | 7.40b | 7.48b |
| T2 | 7.34a | 7.72a | 7.98ab | 8.04ab |
| T3 | 7.54a | 7.88a | 8.18a | 8.46a |
| p-valor | 0.003 | 0.002 | 0.0001 | 0.001 |

¹Escala DSM: 1: amarillo con tonalidad más pálida, 16 amarillo con tonalidad más fuerte (naranja). ²Tratamientos: T0: dieta base sin semilla de achiote, T1: dieta base + semilla de achiote al 0.5%, T2: dieta base + semilla de achiote al 1 %, T3: dieta base + semilla de achiote al 1.5%.

Letras diferentes en cada valor promedio de los tratamientos significa que existe diferencia significativa estadística ($p < 0.05$).

Cuadro 7. Efectos de la inclusión de semilla de achiote en los diferentes tratamientos sobre la coloración de la yema del huevo durante el periodo comprendido entre las semanas 64 a 67 de edad según la escala DSM¹.

| Tratamientos ² | Edad en semanas | | | |
|---------------------------|-----------------|--------|--------|--------|
| | 64 | 65 | 66 | 67 |
| T0 | 6.34c | 6.54c | 6.48c | 6.56c |
| T1 | 7.74b | 7.82ab | 7.74b | 8.06b |
| T2 | 8.54a | 8.54ab | 8.60a | 8.52b |
| T3 | 8.68a | 8.66a | 8.74a | 9.00a |
| p-valor | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |

¹Escala DSM: 1: amarillo con tonalidad más pálida, 16 amarillo con tonalidad más fuerte (naranja). ²Tratamientos: T0: dieta base sin semilla de achiote, T1: dieta base + semilla de achiote al 0.5%, T2: dieta base + semilla de achiote al 1 %, T3: dieta base + semilla de achiote al 1.5%.

Letras diferentes en cada valor promedio de los tratamientos significa que existe diferencia

significativa estadística ($p < 0.05$).

En la figura 7 se muestra los resultados promedio, entre la semana 60 y 67, por tratamiento de los niveles de coloración de la yema según la escala DSM. Podemos observar en las 7 semanas evaluadas, claramente, que a mayor inclusión de harina de semilla de achiote en el alimento, el color de la yema del huevo se vuelve mas intenso.

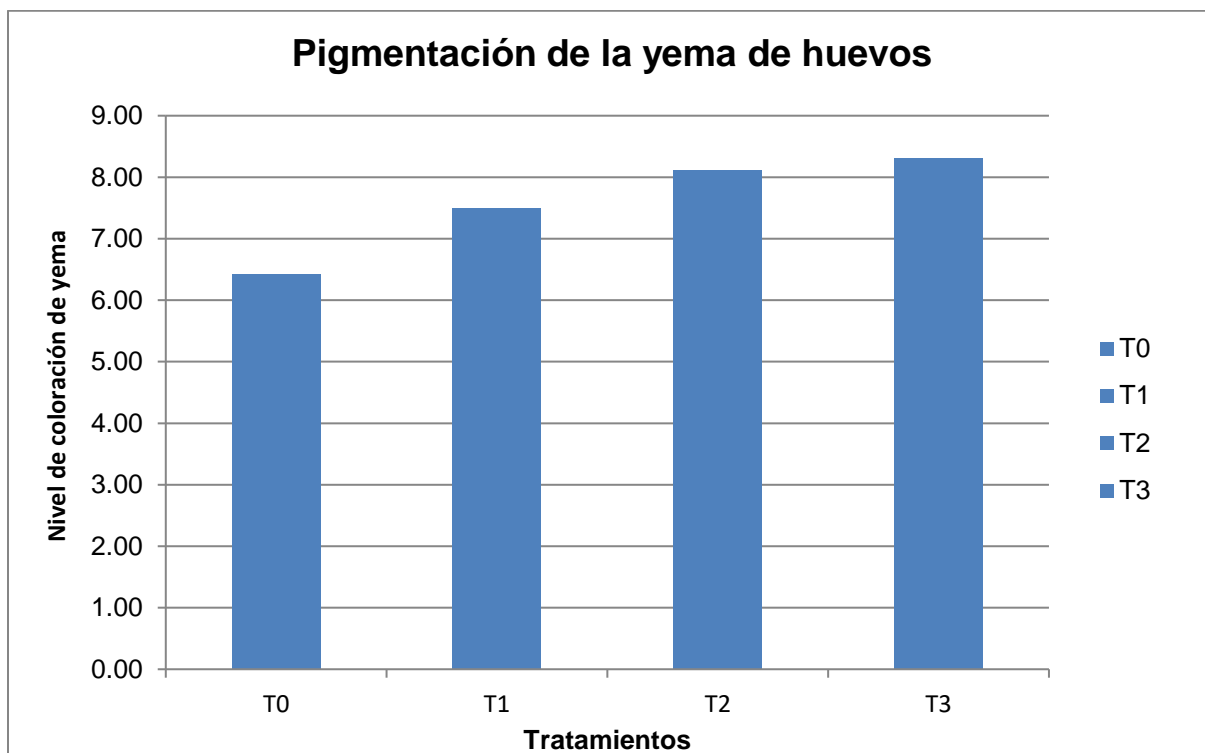


Figura 6. Efecto de la inclusión de harina de semilla de achiote sobre el nivel de coloración de yema del huevo, según la escala DSM¹, por cada tratamiento.

¹Escala DSM: 1: amarillo con tonalidad más pálida, 16 amarillo con tonalidad más fuerte (naranja).

En la figura 8 se muestra el valor 0.9054 que indica que hay una relación del 90.54% entre la inclusión de harina de semilla de achiote en la alimentación y la pigmentación en la yema de los huevos de las gallinas ponedoras.

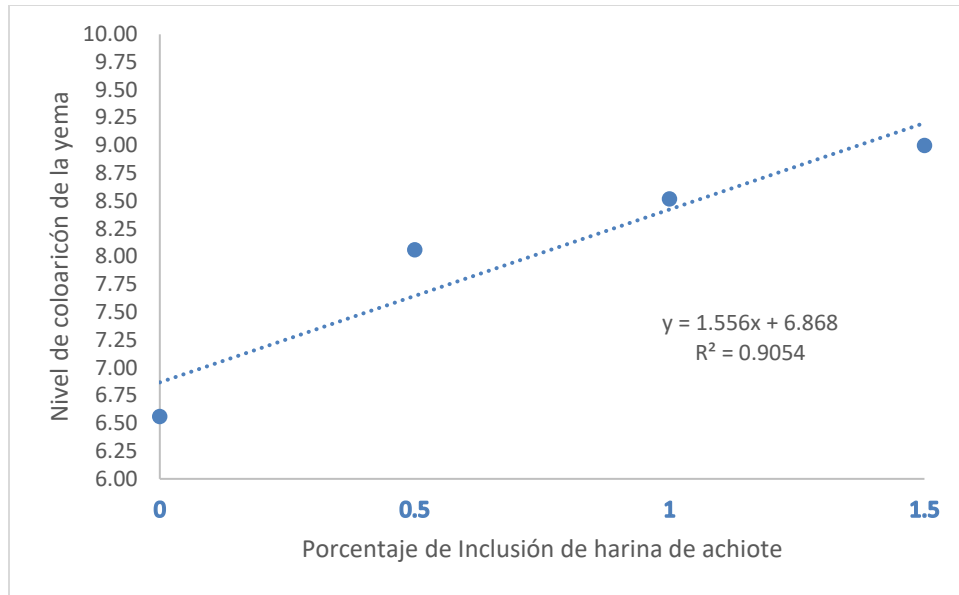


Figura 7. Comportamiento del nivel de inclusión de la harina de achiote sobre el nivel de coloración de yema de huevo según la escala DSM¹.

¹Escala DSM: 1: amarillo con tonalidad más pálida, 16 amarillo con tonalidad más fuerte (naranja).

V. DISCUSION

5.1. Produccion de huevos

Las figuras 2 y 3 muestran que agregar 0%, 0.5%, 1% y 1.5% de semilla de achiote (harina) a la dieta de gallinas ponedoras de la línea Hy-Line Brown no tiene un impacto significativo (con un valor $p > 0.05$) en la producción de huevos. Este hallazgo es consistente con el estudio de Braz et al. (2007), que también encontró que la adición de harina de semilla de achiote no tenía un efecto significativo ($p > 0.05$) en la producción de huevos. Sin embargo, Silva et al. (2006) observaron un aumento en la producción de huevos a medida que aumentaba la inclusión de achiote (al 12%) en dietas con un 40% de sorgo.

5.2. Pigmentacion de la yema del huevo

En los cuadros 3 y 4 exhiben los resultados en cuanto al color de la yema del huevo, y muestran que el tratamiento T3 con un 1.5% de inclusión de achiote presenta diferencias significativas ($p < 0.05$) en comparación con el tratamiento control. Es importante destacar que los tratamientos que alcanzan valores más elevados en la escala DSM son los más efectivos. Esto concuerda con los hallazgos de Aureli et al. (2014), quienes indicaron que la deposición de colorantes depende del nivel de inclusión del pigmento en la dieta. Estos resultados también se asemejan a los de Rojas V. et al. (2015), quienes emplearon cantaxantina y extracto de achiote en las dietas de gallinas de postura en un rango de edad de 34 a 45 semanas, con una inclusión de T0: grupo control, T1: T0 + 30 g de cantaxantina y extracto de achiote, T2: T0 + 60 g de cantaxantina y extracto de achiote, logrando una coloración de la yema calificada como 6, 9 y 12 según la escala de Roche. Esta efectividad puede atribuirse al alto contenido de carotenoides en la composición de la semilla de achiote.

Los tratamientos tuvieron un impacto significativo en la coloración de la yema. El análisis de regresión utilizado se reveló un efecto lineal significativo en función del nivel de inclusión en la dieta de harina de semilla de achiote sobre el color de la yema medido por el aparato yolkfan y el abanico colorimétrico DSM. Este efecto se expresa por la

ecuación lineal $Y = 1.556x + 6.868$, $R^2 = 90.5\%$, donde X es el nivel de inclusión semillas de achiote, e Y es la tonalidad de la yema de huevo. De acuerdo con esta ecuación, la inclusión de 1.5% de harina de semilla de achiote en el alimento obtiene un valor de 9.00; los resultados obtenidos son consistentes con los de los investigadores Martínez et al. (2021) evaluaron el impacto de la inclusión de 0.50%, 1.0% y 1.50% de polvo de semillas de achiote en la alimentación saludable de gallinas ponedoras de la línea Dekalb White a las 38 semanas de edad, se encontró que la dosis más efectiva en términos de color de la yema, peso del huevo, unidades Haugh, grosor de la cáscara y altura de la albúmina fue el tratamiento con un 1.50% de inclusión de polvo de semillas de achiote. Este estudio demostró que la suplementación dietética con polvo de semillas de achiote tiene un impacto positivo en las características tanto externas como internas de los huevos, con un énfasis en la coloración de la yema.

Similar resultado obtuvo Saldanha et al. (2009) donde observaron un efecto lineal significativo del uso de 1 y 2 % de achiote en alimentos para ponedoras con 50 % de reemplazo de maíz por sorgo sobre la pigmentación de la yema. Los valores de color de la yema estimados fueron 7,68 y 8,52 para los niveles de 1 y 2% de achiote, respectivamente, estos resultados se diferencian a los obtenidos en el presente estudio, donde se obtuvieron valores de color de yema de 8.06 con el tratamiento con 0.5% de inclusión de polvo de la semilla de achiote, 8.52 con el tratamiento con 1% de inclusión de polvo de achiote y de 9 para el tratamiento con 1.5% de achiote. Esta diferencia puede explicarse por el hecho de que las investigaciones comparadas reemplazaron el maíz por sorgo en sus dietas experimentales.

Comparando la semilla de achiote que es un pigmentante natural con otros pigmentantes del mismo origen, como estudió Sarmiento et al (2018), quien utilizó 4 pigmentantes naturales (Achiote, remolacha, moringa y pimentón), podemos afirmar que los pigmentantes con mejores resultados en cuanto a la tonalidad de la yema son el pimentón y el achiote llegando según la escala DSM hasta 9 y 10. Podemos deducir que incorporar a la dieta un pigmento natural como es la semilla de achiote da mejores resultados que proporcionar una dieta basada en ingredientes comunes que aportarían menos porcentaje de carotenoides.

VI. CONCLUSIONES

- El uso de la harina de achiote en las dieta de gallina Hyline Brown de 60-67 semanas de edad, no tiene efecto sobre el porcentaje de produccion de huevos en ninguno de los tratamientos experimentales.
- La inclusión de un 1.5% de semillas de achiote resulta en una mejora significativa en la coloración de la yema de los huevos, alcanzando un valor de 9.0 en la escala del abanico DSM.

VII. RECOMENDACIONES

- Evaluar mayores niveles de uso de semilla en etapas donde la producción de huevos es mayor.
- Determinar la disponibilidad de semilla de achiote para poder reemplazar parcialmente a los pigmentantes sintéticos.
- Evaluar la incorporación de harina de semilla de achiote en las dietas de pollos de engorde y examinar su efecto en la pigmentación de la piel y otros aspectos relevantes.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Alzate, L. M., Jimenez C. y Londoño, J., 2011. Aprovechamiento de residuos agroindustriales para mejorar la calidad sensorial y nutricional de productos avícolas. *Producción + Limpia*, 6(1), 108-127. Retrieved September 20, 2023, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552011000100010&lng=en&tlng=es.
- Arce P. J., 1983. Aspectos sobre el achiote y perspectivas para Costa Rica. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Arnaiz, V., 2019. Alternativas de pigmentos sintéticos para uso en dietas de pollos. Lima.
- Aureli, R., Fernandez, S. y Cisneros, F., 2014. DSM Nutritional Products. Eficacia de pigmentación de yema de huevo de dos productos altos en zeaxantina comparados con Apo-ester. Obtenido de <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/eficacia-pigmentacionyema-huevo-t30912.htm>
- Berkhoff, J., Alvarado C., Keim J., Alcalde J., Vargas E., y Gandarillas M., 2020. Consumer preferences and sensory characteristics of eggs from family farms. *Poult. Sci.* 99:6239–6246.
- Braz N., Freire M., Rodriguez E., Silveira S., Ferreira R., Castro R., 2007. Semente residual do urucum na alimentação de poedeiras comerciais: desempenho e características dos ovos. *Acta Scientiarum Ciencia Animal*; 29(2):129-133.
- Carranco, E., Barrita, V., Fuente, B., Ávila, E., y Sanginés, L., 2020. Inclusión de harina de *Tithonia diversifolia* en raciones para gallinas ponedoras de primer ciclo y su efecto sobre la pigmentación de yema de huevo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(2), 355–368. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i2.5090>
- Casaubon M. (2015). Anatomofisiología Del Aparato Reproductor de Las Aves. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Chacon, A., Salas, C. y Zamora, L., 2016. Shrimp cephalothorax meal in laying hen diets: effects on egg. *Agron. Mesoam.*, 27(1), 81-93.
- DSM. Animal Nutrition and Health, 2023. Medición del color de la yema del huevo. Obtenido de: https://www.dsm.com/anh/es/products-and-services/tools/yolkfan.html?fbclid=IwAR20va1gw7wA5HbeCkszrmqC8ZRXIBu2W3m1z-cDtwZJ_EBHeli2E_DxLvA
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2020. Gateway to poultry production and products. Accessed March 2020. <http://www.fao.org/poultryproduction-products/production/en/>.
- Filipiak, F., Dereń, K., Florkiewicz, A., Topolska, K., Juszcak, L., y Cieślik, E. (2017). The quality of eggs (organic and nutraceutical vs. conventional) and their technological properties. *Poultry Science*, 96(7), 2480–2490. <https://doi.org/10.3382/ps/pew488> *Food science and nutrition*, 18(1), 59-97.
- García E., Mendes A., Pizzolante C., Gonçalves H., Oliveira R., Silva M. (2002). Efeitos dos níveis de cantaxantina na dieta sobre o desempenho e qualidade dos ovos de poedeiras comerciais. *Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia Avícolas*; 4(1):55-61.
- Vera J. (2018). Impacto del peso vivo, crestas y barbillas de gallinas Dekalb White® con 17 semanas de edad sobre la producción y calidad de huevo.
- Gharbi, N. and Labbafi M. (2018). Effect of processing on aggregation mechanism of egg white proteins. *Food Chem.* 252:126–133.
- Grashorn, M. (2016) Feed Additives for Influencing Chicken Meat and Egg Yolk Color. In *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages* (pp. 283–302). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100371-8.00014-2>
- Hernández M., (2020). La Pigmentación de Huevos y Pollos de Engorda.
- Howard T., Bauerfeind J., y Furia T. (1983). Carotenoids as food colorants.
- Hy-Line International. (2017). La ciencia de la calidad del huevo. Boletín técnico.

- Huyghebaert G. (2006). Fisiología de la puesta con énfasis en la calidad de la cascara. *Selecciones avícolas*, 48(4), 227-230 p.
- Instituto de Estudios del Huevo. (2009). Formación y estructura del huevo. En EVEREST, *El Gran Libro del Huevo* (pág. 16). Madrid: EVEREST.
- Instituto de Estudios del Huevo. (2019). Composición nutricional del huevo. Obtenido del sitio web <http://www.institutohuevo.com/composicionnutricional-del-huevo/>.
- Jaramillo A., Mojica J., Caro E., y Sosa J. (2018). Evaluación de la calidad del huevo de gallina en dos sistemas de alojamiento—piso convencional con suplementación de sauco (*Sambucus nigra*) y pastoreo con kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)—en la Sabana de Bogotá. *Revista Siembra CBA*, 2(1), 59-77 p.
- Johnston, T. (1976). El achiote como una alternativa promisaria para incluir en sistemas del pequeño agricultor. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- López, A. (2017). Colorantes más utilizados en la industria.
- Marounek M., y Pebriansyah A. (2018). Use of carotenoid in feed mixtures for poultry: a review. *Agric. Trop. Subtrop.* 51:107–111.
- Martínez Y., Orozco C., Montellano R., Valdivié M., y Parrado C. (2021). Use of achiote (*Bixa orellana*) seed powder as pigment of the egg yolk of laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 30(2), 100154. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2021.100154>
- Martín, N. (2015). Defectos de la cáscara del huevo. *Veterinaria Digital*.
- Mendoza M., Gamarra N. y Montalvo T. (2017). Uso de harina de zanahoria (*daucus carota*) de descarte en la alimentación para la pigmentación natural de la canal de pollos broiler engorde. Huancayo: UNCP.
- Ninahualpa D. (2018). Efecto de la harina de achiote (*Bixa orellana*) sobre la pigmentación a la canal e inmunoglobulinas en pollos de engorde (Bachelor's

thesis).

OECD and Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030. OECD. <https://doi.org/10.1787/19428846-en>

Pineda J., Saldarriaga L. (2012). Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote (*Bixa orellana*). Revista Universidad EAFIT, vol. 39, no 131, p. 8-22.

Ramírez L. (2015). Fisiología Reproductiva y Programas de Luz.

Rincón S., Ciro G., y Zapata. J. (2016). Revista cubana de plantas medicinales. In Revista Cubana de Plantas Medicinales (Vol. 21, Issue 2). Editorial Ciencias Médicas. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962016000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=pt.

Rojas V., Callacna V., y Arnaiz P. (2015). Use of an additive canthaxanthin based and annatto extract in diets of laying hens and its effect on the color of the yolk and the egg shelf life. Scientia Agropecuaria, 191–199. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.03.05>

Rostagno H., Teixeira L., Hannas M., Lopes, J., Kazue N., Guilherme, F., Saraiva A., Teixeira de Abreu M., Borges P., Flávia de Oliveira R., Luiz de Toledo S., Clauson de Oliveira B. (2017). Tablas brasileñas para aves y cerdos: composición de alimentos y requerimientos nutricionales (4ª Edición). Viçosa: Universidad Federal de Viçosa-Departamento de Zootecnia.S.A.

Ruiz B. (2021). ¿Qué es el Digital YolkFan Pro para pigmentación de yema?. Càtedra avícola latam. <https://catedralatam.com/que-es-el-digital-yolkfan-pro-para-pigmentacion-de-yema/>

Saldanha E., Laganá C., Pizzolante C., Turco P., Garcia E., Kakimoto S. (2009). Tempo de pigmentação e despigmentação de ovos de galinhas poedeiras alimentadas com pigmentos naturais na dieta. Anais do 7º Congresso de Produção y Consumo de Ovos; São Pedro, São Paulo. brasil pag. 200-202.

- Sánchez, J. R. (2013). The chemistry of color in food. *Química Viva*, 12(3), 234-246.
- Sarmiento C., Cardenas M., Bernal L., y Rodriguez M. (2018). Uso de pigmentantes naturales para la coloración de la yema de huevo y evaluación de parámetros productivos en aves de postura de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. *REVISTA COLOMBIANA DE ZOOTECNIA*, 4(7), 5–5. <http://anzoo.org/publicaciones/index.php/anzoo/article/view/28>
- Scartepa B., Sánchez L. (2019). Investigación de mercados para la viabilidad de producción y comercialización del achiote en el departamento de risaralda (Bixa orellana). Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Ingeniería Industrial.
- Schweigert F., Hurtinne A., Mothes R., y Schierle J. (2011). Un nuevo test rápido para la cuantificación de los carotenoides totales en la yema de huevo otenoides totales en la yema de huevo. *Selecciones Avícolas*. 26-28.
- Shad A., Ahmad S., Ullah R., Abdel N., Fouad H., Rehman N., Hussain H., y Saeed W. (2014). Phytochemical and biological activities of four wild medicinal plants. *Scientific World Journal*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/857363>
- Silva J., Jordão E, Ribeiro M., Costa F. (2006). Resíduo da semente de urucum (Bixa orellana L.) como corante da gema, pele, bico e ovário de poedeiras avaliado por dois métodos analíticos. *Revista Ciência e Agrotecnologia*; 30(5):988-994
- Soler R., y Bueso J. (2017). Analysis of the alterations of the hen's egg shell. *Nereis. Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación*, 10, 137-147.
- Solla, S. (2018). Factores claves en la Pigmentación – Dirección Nacional de Avicultura y Balanceados. Solla S. A, 3. Obtenido de <https://www.solla.com/sites/default/files/productos/secciones/adjuntos/factoresclavesenlapigmentaciondelayemadehuevocomercialsollanotas.pdf>
- SoyaNotas N°34. (2016). El uso de pigmentos en avicultura. Colombia: Dirección

nacional avicultura balanceados Solla SA. Recuperado de:
<http://www.solla.com/content/el-uso-de-pigmentos-en-avicultura>.

Valdivieso D. (2020). Aditivos naturales y sintéticos empleados por la industria avícola en América para dar coloración de la yema de huevo (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2020). 12-14.

Villagrán, R. (2014) Utilización del concho de mosqueta (*Rosa aff. Rubiginosa L.*) como fuente pigmentante en raciones para ponedoras. Biblioteca Universal.

Rojas V., Callacna M., y Arnaiz V. (2015). Uso de un aditivo a base de cantaxantina y extracto de achiote en dietas de gallinas de postura y su efecto sobre la coloración de la yema y la vida de anaquel del huevo. *Scientia Agropecuaria*, 6(3), 191-199. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.03.05>.

Yang N. (2020). Coloración de pollos de engorde: Medidas técnicas para mejorar. Engormix. https://www.engormix.com/avicultura/calidad-carne-pollo/coloracion-pollos-engorde-medidas_a45026/

IX. ANEXOS

Anexo 1. Resultados promedios de % de producción de huevos del tratamiento 0 desde la semana 60 a 67 según cada repetición.

| Repetición | Edad/Sem | Aves | Huevos | % Producción |
|------------|----------|------|--------|--------------|
| R1 | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 62 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 63 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 64 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 65 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 66 | 15 | 12 | 80.0 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | | 85.2 |
| R2 | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 62 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 63 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 64 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 65 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 66 | 15 | 12 | 80.0 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | | 84.8 |
| R3 | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 62 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 63 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 64 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 65 | 15 | 12 | 80.0 |
| | 66 | 15 | 12 | 80.0 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | | 84.4 |
| R4 | 60 | 16 | 14 | 87.5 |

| | | | | |
|----------|----|----|----|-------------|
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 62 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 63 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 64 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 65 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 66 | 16 | 12 | 75.0 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | | 83.4 |
| | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 62 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 63 | 16 | 13 | 81.3 |
| R5 | 64 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 65 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 66 | 15 | 12 | 80.0 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | | 83.3 |

T0: dieta base sin semilla de achiote, T1: dieta base + semilla de achiote al 0.5%, T2: dieta base + semilla de achiote al 1 %, T3: dieta base + semilla de achiote al 1.5%.

Anexo 2. Resultados promedios de % de producción de huevos del tratamiento 1 desde la semana 60 a 67 según cada repetición.

| Repetición | Edad/Sem | Aves | Huevos | % Producción |
|------------|----------|------|--------|--------------|
| | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 62 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 63 | 16 | 14 | 87.5 |
| R1 | 64 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 65 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 66 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | | 85.0 |

| | | | | |
|----------|----|----|----|-------------|
| | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 62 | 16 | 14 | 87.5 |
| R2 | 63 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 64 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 65 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 66 | 16 | 12 | 75.0 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | | 84.2 |
| | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 62 | 16 | 14 | 87.5 |
| R3 | 63 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 64 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 65 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 66 | 15 | 12 | 80.0 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | | 84.0 |
| | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 62 | 16 | 14 | 87.5 |
| R4 | 63 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 64 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 65 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 66 | 15 | 12 | 80.0 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | | 84.1 |
| | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| R5 | 62 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 63 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 64 | 15 | 12 | 80.0 |
| | 65 | 15 | 12 | 80.0 |

| | | | |
|----------|----|----|-------------|
| 66 | 15 | 12 | 80.0 |
| 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | 83.6 |

T0: dieta base sin semilla de achiote, T1: dieta base + semilla de achiote al 0.5%, T2: dieta base + semilla de achiote al 1 %, T3: dieta base + semilla de achiote al 1.5%.

Anexo 3. Resultados promedios de % de producción de huevos del tratamiento 2 desde la semana 60 a 67 según cada repetición.

| Repetición | Edad/Sem | Aves | Huevos | % Producción |
|------------|----------|------|--------|--------------|
| R1 | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 15 | 14 | 93.3 |
| | 62 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 63 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 64 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 65 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 66 | 15 | 12 | 80.0 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | | 85.9 |
| R2 | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 62 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 63 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 64 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 65 | 15 | 12 | 80.0 |
| | 66 | 15 | 12 | 80.0 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | | 84.5 |
| R3 | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 62 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 63 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 64 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 65 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 66 | 15 | 12 | 80.0 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | | 84.7 |
| R4 | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 62 | 16 | 14 | 87.5 |

| | | | | |
|----------|----|----|----|-------------|
| | 63 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 64 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 65 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 66 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | | 84.1 |
| | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 62 | 16 | 14 | 87.5 |
| R5 | 63 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 64 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 65 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 66 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | | 84.2 |

T0: dieta base sin semilla de achiote, T1: dieta base + semilla de achiote al 0.5%, T2: dieta base + semilla de achiote al 1 %, T3: dieta base + semilla de achiote al 1.5%.

Anexo 4. Resultados promedios de % de producción de huevos del tratamiento 3 desde la semana 60 a 67 según cada repetición.

| Repetición | Edad/Sem | Aves | Huevos | % Producción |
|------------|----------|------|--------|--------------|
| | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 62 | 16 | 14 | 87.5 |
| R1 | 63 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 64 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 65 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 66 | 15 | 12 | 80.0 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | | 85.3 |
| R2 | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |

| | | | | |
|----------|----|----|----|-------------|
| | 62 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 63 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 64 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 65 | 15 | 13 | 86.7 |
| | 66 | 15 | 12 | 80.0 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | | 84.7 |
| | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 62 | 16 | 14 | 87.5 |
| R3 | 63 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 64 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 65 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 66 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 67 | 16 | 12 | 75.0 |
| Promedio | | | | 83.6 |
| | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 62 | 16 | 14 | 87.5 |
| R4 | 63 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 64 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 65 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 66 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |
| Promedio | | | | 83.4 |
| | 60 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 61 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 62 | 16 | 14 | 87.5 |
| R5 | 63 | 16 | 14 | 87.5 |
| | 64 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 65 | 16 | 13 | 81.3 |
| | 66 | 15 | 12 | 80.0 |
| | 67 | 15 | 12 | 80.0 |

| | |
|----------|------|
| Promedio | 84.1 |
|----------|------|

T0: dieta base sin semilla de achiote, T1: dieta base + semilla de achiote al 0.5%, T2: dieta base + semilla de achiote al 1 %, T3: dieta base + semilla de achiote al 1.5%.

Anexo 5. Medición del color de la yema del huevo con el equipo Yolkfan.



Anexo 6. Abanico colorímetro DSM



