

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA

ESCUELA PROFESIONAL DE ZOOTECNIA



TESIS

**INCLUSION DE PIGMENTO NATURAL ACHIOTE (*Bixa Orellana*),
SOBRE LA PIGMENTACION DE POLLOS CRIOLLOS**

PRESENTADO POR:

Br. NOE ISMAEL FLORES CAHUANA

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

ASESOR:

Dr. DUNKER ARTURO ALVAREZ MEDINA

**CUSCO – PERÚ
2026**



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor DUNKER ARTURO ALVAREZ MEDINA
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: INCLUSION DE PIGMENTO
LA PIGMENTACION DE POLLOS CRIOLOS

Presentado por: NOE ISMAEL FLORES CAHUANA DNI N° 72013115;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO ZOOTECNISTA

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03... veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de
Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<u>X</u>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto**
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 21 de Julio de 2026


Firma

Post firma DUNKER ARTURO ALVAREZ MEDINA

Nro. de DNI 23920988

ORCID del Asesor 0000-0002-7483-1697

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:609164297

TESIS FINAL NOE ISMAEL FLORES CAHUANA HOY.docx

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:609164297

Fecha de entrega

20 jul 2026, 7:05 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

20 jul 2026, 7:19 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS FINAL NOE ISMAEL FLORES CAHUANA HOY.docx

Tamaño del archivo

5.5 MB

61 páginas

10.691 palabras

58.618 caracteres

10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Con profundo amor y gratitud, dedico esta tesis a mis amados padres, Dionicia Cahuana e Ismael Flores, por ser mi mayor ejemplo de perseverancia, amor y fortaleza. Gracias por su apoyo incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y por acompañarme con paciencia y fe en cada etapa de mi vida. Cada logro alcanzado es fruto de sus sacrificios, de sus consejos y del inmenso amor que siempre me han brindado.

Esta meta no solo es mía, sino también de ustedes, quienes con su dedicación y entrega me dieron las herramientas para hacer realidad mis sueños.

A mi hermana Kary Luzmila Flores, a mis tíos Arturo Enciso, José Luis Flores, Verónica Cahuana y Tula Samata, por su cariño y apoyo constante, por ser una fuente de fortaleza y motivación en los momentos más difíciles.

A mis queridos abuelos, Antonio Cahuana y Leocadia Chahuayo, que partieron dejando en mí su ejemplo y sus enseñanzas, y a mi abuela Juana Cencia, por su amor, sabiduría y ternura, que siempre acompañan mi camino.

NOE ISMAEL FLORES CAHUANA

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primera instancia a Dios, por darme la vida, la salud y la oportunidad de estudiar esta hermosa profesión, Zootecnia, que me ha permitido comprender la importancia del trabajo con responsabilidad, entrega y amor hacia el campo y los animales.

A mi asesor, el Ing. Zoot. Dr. Dunker Álvarez Medina, por su guía, paciencia y por compartir sus valiosos conocimientos, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mis docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias, quienes a lo largo de mi formación profesional compartieron sus experiencias y saberes, contribuyendo a fortalecer mi vocación y compromiso con la Zootecnia.

A mis tíos, por su apoyo, consejos y por estar siempre presentes brindándome ánimo y confianza para seguir adelante.

A la Ing. Flor Evelin Palomino Huayllasi, por su apoyo constante, por sus palabras de aliento y por motivarme a seguir adelante aun en los momentos más difíciles.

A mi grupo de amigos, por los momentos compartidos, las experiencias inolvidables y el compañerismo que hicieron de esta etapa una experiencia única y especial.

Finalmente, a la Tricentenaria Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, mi alma máter, por haberme acogido y formado con excelencia, brindándome la oportunidad de crecer personal y profesionalmente, y por enseñarme que la dedicación y el esfuerzo son la base para lograr los sueños.

INDICE

RESUMEN	10
ABSTRAC	11
INTRODUCCION	12
I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN	13
II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN	14
2.1 Objetivos	14
2.1.1 Objetivo general.....	14
2.1.2 Objetivos específicos	14
2.2 Justificación	14
III. MARCO TEORICO CONCEPTUAL	16
3.1 Antecedentes	16
3.1.1 Internacionales	16
3.1.2 Nacionales.....	17
3.1.2 Locales	18
3.2 Marco teórico	19

3.2.1	Pigmentación en la carne de aves	19
3.2.2	Pigmentos en la alimentación animal	20
3.2.3	Diferencias entre pigmentos sintéticos y naturales	22
3.2.4	<i>Bixa orellana</i> (Achiote) como fuente de pigmento natural	23
3.2.5	Procesamiento y obtención del pigmento <i>Bixa orellana</i>	24
3.2.6	Nutrición y metabolismo del pigmento en pollos	25
3.2.7	Pollo Criollos	25
3.2.8	Calidad de carne en pollos criollos	26
IV.	MATERIALES Y METODOLOGIA.....	27
4.1	Ámbito de estudio	27
4.2	Ubicación geográfica	27
4.3	Materiales.....	28
4.3.1	Materiales de campo	28
4.3.2	Materiales de laboratorio	28
4.3.3	Materiales de gabinete	28
4.4	Métodos.....	29
4.4.1	Tipo y nivel de investigación.....	29

4.4.3 Etapas de la investigación.....	30
4.4.3.2 Fase experimental	32
4.4.3.3 Fase de gabinete.....	38
V. RESULTADOS Y DISCUSION	40
5.1. Nivel de pigmentación del pecho en pollos criollos con Digital YolkFan™	40
5.2. Indicadores productivos	43
5.2.1 Consumo de alimento	45
5.2.2 Conversión alimenticia	46
5.2.3 Rendimiento de carcasa	47
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
6.1 Conclusiones	49
6.2 Recomendaciones.....	50
VII. BIBLIOGRAFIA.....	51
ANEXOS	55

Índice de tablas

Tabla 1: Composición general de la semilla de achiote.....	24
Tabla 2: Dieta experimental y valor nutritivo estimado	35
Tabla 3: Escala de colores Digital YolkFan™	38
Tabla 4: Parámetros de color (L, a, b) del músculo pectoral en pollos criollos bajo distintos niveles de inclusión de harina integral de achiote.	40
Tabla 5: Comparación de medias de los parámetros de color (L, a, b) del músculo pectoral de pollos criollos	41
Tabla 6: Indicadores productivos promedio de pollos criollos alimentados con diferentes niveles de harina integral de achiote (<i>Bixa orellana</i>)	43
Tabla 7: Consumo de alimento semanal (g/ave) por tratamiento en pollos criollos.....	45
Tabla 8: Conversión alimenticia por tratamiento en pollos criollos	46
Tabla 9: Rendimiento de carcasa por tratamiento en pollos criollos	47

Índice de figuras

Figura 1: Mapa de ubicación Granja Kayra, Sector Ladrillera	27
Figura 2: Proceso metodológico de la investigación	30
Figura 3: Ficha de registro	33
Figura 4: Equipo YolkFan™.	37

Índice de anexos

Anexo 1: Análisis de Varianza (ANOVA) para los parámetros de pigmentación	55
Anexo 2: Análisis de Varianza (ANOVA) para el consumo de alimento semanal	56
Anexo 3: Análisis de Varianza (ANOVA) para la conversión alimenticia	57
Anexo 4: Análisis de Varianza (ANOVA) para el rendimiento de carcasa.....	58
Anexo 5: Acondicionamiento de las instalaciones	59
Anexo 6: Pollos en etapa de inicio.....	59
Anexo 7: Preparación de alimento balanceado	60
Anexo 8: Alimento balanceado con adición de aminoácidos	60
Anexo 9: Control de peso	61
Anexo 10: Evaluación por tratamientos.....	61

RESUMEN

El presente estudio evaluó el efecto de la inclusión de harina integral de *Bixa orellana* (achiote) como pigmento natural en la dieta de pollos criollos y su influencia sobre la pigmentación de la carne y el desempeño productivo. Se emplearon 88 aves distribuidas aleatoriamente en cuatro tratamientos con diferentes niveles de inclusión (0 %, 0.25 %, 0.50 % y 0.75 %), bajo un diseño completamente al azar (DCA), durante un periodo de 90 días. Se midieron parámetros zootécnicos como ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y rendimiento de carcasa, además de la coloración del músculo pectoral mediante el equipo Digital YolkFan™.

Los resultados mostraron que la incorporación del pigmento natural no produjo diferencias significativas ($p > 0.05$) en los valores de luminosidad (L), rojo (a) y amarillo (b), manteniéndose dentro de los rangos normales. Del mismo modo, los indicadores productivos y el rendimiento de carcasa no se vieron afectados por la adición de harina de achiote, lo que evidencia que su uso no altera el crecimiento ni la eficiencia alimenticia de los pollos criollos. En conclusión, la harina de *Bixa orellana* representa una alternativa natural, inocua y sostenible frente a los pigmentos sintéticos, pudiendo incorporarse en la alimentación aviar rural sin comprometer la calidad ni la productividad.

Palabras clave: *Bixa orellana*, Pigmento natural, Pollos criollos, Pigmentación, Rendimiento de carcasa.

ABSTRAC

This study evaluated the effect of including whole annatto (*Bixa orellana*) meal as a natural pigment in the diet of creole chickens and its influence on meat pigmentation and productive performance. A total of 88 birds were randomly distributed into four treatments with different inclusion levels (0%, 0.25%, 0.50%, and 0.75%) under a completely randomized design (CRD), for a period of 90 days. Productive parameters such as body weight gain, feed intake, feed conversion ratio, and carcass yield were recorded, and breast muscle color was measured using the Digital YolkFan™ device.

Results indicated that the addition of the natural pigment did not produce significant differences ($p > 0.05$) in the color parameters L (lightness), a (redness), and b (yellowness), which remained within normal ranges. Similarly, productive performance and carcass yield were not affected by the inclusion of annatto meal, showing that its use does not alter growth or feed efficiency in creole chickens. In conclusion, *Bixa orellana* meal represents a natural, safe, and sustainable alternative to synthetic pigments, suitable for inclusion in rural poultry diets without compromising meat quality or productivity.

Keywords: *Bixa orellana*, Natural pigment, Creole chickens, Pigmentation, Carcass yield.

INTRODUCCION

En los sistemas avícolas tradicionales, la pigmentación de la carne constituye un factor determinante para la aceptación del producto por parte del consumidor, ya que influye en su percepción de frescura y calidad. Sin embargo, en la producción de pollos criollos, la falta de una coloración intensa limita su competitividad en el mercado, a pesar de sus adecuados parámetros productivos y su preferencia en entornos rurales (Paredes & Vásquez, 2020). Por esta razón, el uso de pigmentos naturales ha cobrado creciente interés como alternativa a los aditivos sintéticos, en respuesta a las tendencias actuales de consumo saludable y sostenible.

Entre las fuentes naturales más destacadas se encuentra el achiote (*Bixa orellana*), planta tropical rica en carotenoides como bixina y norbixina, reconocidos por su capacidad para conferir tonos amarillos y rojizos en los tejidos animales y por sus propiedades antioxidantes. Su inclusión en dietas avícolas podría mejorar la apariencia de la carne sin comprometer el rendimiento productivo, además de ofrecer ventajas ecológicas y económicas al aprovechar recursos vegetales locales (Isaza Jiménez et al., 2019).

El presente trabajo tuvo como propósito evaluar el efecto de la inclusión de harina integral de *Bixa orellana* sobre la pigmentación del músculo pectoral y los parámetros productivos de pollos criollos criados en el Centro Agronómico K'ayra (Cusco, Perú). La investigación busca generar información técnica que contribuya al desarrollo de sistemas de producción avícola más sostenibles, mediante el uso de aditivos naturales que mejoren la calidad visual y el valor comercial de la carne criolla, fortaleciendo así la avicultura rural en regiones andinas.

I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN

Identificación del problema objeto de investigación

Los carotenoides utilizados en la alimentación de la crianza de pollos en sistemas de crianza tradicional enfrentan un gran desafío en la comercialización de la carne del pollo por la insatisfacción del consumidor por temas de pigmentación a pesar de sus buenos parámetros productivos como la ganancia de peso, conversión alimenticia y rendimiento en pollos criollos, sin embargo, el consumidor no lo acepta en su totalidad. Es por ellos que surgen las siguientes interrogantes ¿en qué medida la inclusión de este pigmento natural *Bixa orellana* influye en la pigmentación de la carne y su desempeño productivo? Como también preguntas de manera específica para la investigación ¿Cuáles son las diferencias significativas en pigmentación de la carne entre tratamientos con distintos niveles de harina de achiote?

Este problema tiene relevancia práctica porque aborda directamente una limitación de mercado (aceptación visual de la carne), pero también científica al buscar integrar la caracterización del color con los parámetros productivos y económicos en pollos criollos.

II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la inclusión del pigmento natural (*Bixa orellana*) en la dieta sobre la pigmentación de la carne de los pollos criollos y los indicadores productivos de los pollos criollos.

2.1.2 Objetivos específicos

- a. Determinar el nivel de pigmentación de la carne de pollos criollos utilizando tecnología basada en espectrofotometría y análisis de color utilizando el Digital YolkFan™.
- b. Evaluar los indicadores productivos (peso vivo, ganancia de peso, conversión alimenticia, consumo de alimento y rendimiento en carcasa).

2.2 Justificación

Uno de los principales retos en la crianza de pollos criollos es mejorar la pigmentación de la carne sin que este afecte o comprometa a los parámetros productivos (Miao et al., 2024). Otros estudios indican que la incorporación de carotenoides en la dieta de los pollos influye positivamente en la coloración de los tejidos musculares y actúan como antioxidantes que benefician el bienestar animal de las aves (Nabi et al., 2020).

En ese contexto, se presenta como alternativa natural a la *Bixa orellana*, conocida como achiote, ya que es capaz de intensificar la pigmentación de la carne ofreciendo un producto saludable y sostenible en comparación con un pigmento sintético (Mayulu et al., 2019).

El estudio busca generar información con dos enfoques, de manera productiva y económica que se pueda aplicar en crianzas locales y se realice la incorporación en la dieta el achiote. Según (Luiggi et al., 2020) demostraron que los niveles de bixin tiene un impacto favorable a la percepción del producto por el consumidor, generando así competitividad en el sector avícola. Por lo tanto, los consumidores demandan alimentos naturales con menor presencia de aditivos químicos, siendo así que esta investigación permite fortalecer la base técnica de la alimentación y nutrición animal y a su vez generar una producción sostenible y alineada a las nuevas tendencias del mercado (Martínez *et al.*, 2021).

Este trabajo aporta conocimiento entre la nutrición, la pigmentación y la calidad de la carne de aves criollas en condiciones en la sierra del Perú, en la ciudad del Cusco, por lo tanto, genera evidencia sobre el comportamiento de los pigmentos naturales bajo condiciones ambientales propias de la región andina, lo que amplía la aplicabilidad de los resultados a otras zonas con características similares. Asimismo, al evaluar los efectos del achiote no solo en la pigmentación, sino también en los indicadores productivos y económicos, estableciendo una base teórica de referencia para futuras investigaciones en la ciencia avícola como para el desarrollo productivo sostenible y competitivo.

III. MARCO TEORICO CONCEPTUAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Internacionales

Para Luiggi *et al.*, (2020) en su trabajo de investigación titulada “Uso de bixina en la dieta de pollos de engorde y sus efectos sobre el desempeño zootécnico y la calidad de la carne” tuvo como objetivo evaluar la inclusión de niveles de bixina como carotenoides obtenidos de semillas de achiote en las dietas de pollos de engorde y determinar su desempeño zootécnicos. Su trabajo fue desarrollado con 750 pollos de la línea Cobb 500, tuvo cinco tratamientos con 6 repeticiones, cuyas dietas contenían cinco deferentes niveles de incorporación de bixina (0.0, 0.05, 0.10, 0.15 y 0.25%). Así mismo, se evaluaron los parámetros productivos de consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia, características de la carne, perdida de agua, fuerza de corte y niveles de oxidación lipídica. La investigación dio como primer resultado que la incorporación de la bixina tiene un incremento favorable en el desempeño de las aves y efectos positivos en la calidad de la carne, como segundo resultado mostro la intensidad del color amarillo y mejorando la textura. Además, se evidencio que su acción antioxidante es favorable, indicando que el potencial de la bixina como sustituto natural de pigmentos y antioxidantes sintéticos en la alimentación avícola es controversial en los nuevos sistemas de producción haciéndolas mas sostenibles.

Castañeda *et al.*, (2005) en su trabajo titulado “Evaluación de la pigmentación de la piel en pollos de engorde alimentados con pigmentos naturales y sintéticos” tuvo como objetivos comparar los efectos de pigmentos naturales y sintéticos en diferentes niveles de incorporación sobre la pigmentación de la piel en pollos de engorde, 280 pollos fueron sometidos a evaluación

con siete tratamientos, estos incluyeron diferentes pigmentos naturales y sintéticos como *cantaxantina*, *apo-ester* y *capsicum annuu*, con duración de siete semanas de las cuales se fueron evaluando constantemente el color de la piel con un colorímetro, el peso corporal, su consumo de alimento diario y la concentración plasmática de pigmentos amarillos y rojos. Los resultados que se obtuvieron en la investigación demostraron que la incorporación de niveles altos de pigmentos naturales genera mayor intensidad del color amarillo (b) en la piel a diferencia de los pigmentos sintéticos que mostraron una buena absorción, pero con mejor eficiencia pigmentante. También se demostró que no existe diferencias significativas en cuanto a la ganancia de peso ni el consumo del alimento entre tratamientos, llegando a la conclusión que el uso de los pigmentos naturales es más eficiente frente a los sintéticos y sus niveles bajos de incorporación a la dieta puede lograr una coloración aceptable sin incrementar los costos de alimentación.

3.1.2 Nacionales

Naveda Chirinos, (2014) en su trabajo de tesis titulado “Efecto del extracto de semilla de achiote (*Bixa orellana*) en reemplazo de la vitamina E sobre la respuesta productiva y estado antioxidante de pollos de carne de 21 días de edad” evaluó el efecto del extracto de achiote como reemplazo de la vitamina E en la dieta de pollos de carne, para ello se evaluó 120 pollos en cuatro tratamientos 0 %, 50 %, 100 % y un tratamiento sin adición, permitiendo analizar el desempeño productivo y el estado antioxidante y sobre todo la calidad del musculo. Los resultados que llegaron a obtener reflejo que al sustituir el 50% de la vitamina la coloración del musculo mejoro significativamente y se redujo la oxidación lipídica, sin embargo, su reemplazo al 100% demostró ligeras limitaciones con el crecimiento y aumentó la oxidación. Por lo tanto, indicaron que para mantener un equilibrio entre los parámetros productivos la implementación de carotenoides es viable al utilizarlo como complemento.

Rojas Perea (2016) en su tesis titulada “Efecto de la harina de achiote (*Bixa orellana* L.) en la pigmentación de pollos de carne COBB-500” evaluó la influencia de diferentes niveles de harina de achiote sobre la pigmentación, las características productivas y organolépticas de la carne de pollo, para dicho experimento utilizó 100 pollos de la línea COBB-500 con cinco tratamientos 0 %, 0.5 %, 1 %, 1.5 % y 2 % distribuidos completamente al azar cada uno con cuatro repeticiones en la etapa de crecimiento y engorde. Asimismo, se evaluó la pigmentación en el tarso, consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia, rendimiento de carcasa y sus características organolépticas. Los resultados que llegaron a obtener mostraron diferencias significativas en cuanto a los tratamientos con 1.5% y 2% que no afectan el desempeño productivo. Por lo tanto, concluyeron que la incorporación de la harina de achiote al 1.5% es la mejor opción para mejorar la pigmentación de manera natural y optimizar la calidad comercial del producto avícola al mercado

3.1.2 Locales

Guzmán *et al.* (2024) en su estudio titulado “Harina de achiote (*Bixa orellana*) en el mejoramiento organoléptico y coloración en pollos de engorde” busco medir el efecto de la harina de achiote sobre la pigmentación de la piel, tarsos y las características organolépticas de la carne de pollos de engorde y dar a conocer su potencias sustituto natural de pigmentos sintéticos para dicho estudio se utilizó 20 pollos de la línea Ross 308 con cuatro tratamientos: T0 (0 %), T1 (1.5 %), T2 (3 %) y T3 (5 %), durante 49 días. También se evaluó la coloración mediante el abanico colorimétrico de Roche y sus propiedades sensoriales. La investigación dio como resultado que a mayor incorporación en la dieta mayor intensidad de color en la piel y tarsos siendo superior a los otros tratamientos. Por ende, este genera mayor aceptabilidad por el consumidor.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Pigmentación en la carne de aves

La coloración de la carne varía en función a la genética, manejo, dieta y edad al sacrificio del ave, sin embargo, el factor más influyente es la dieta suministrada durante la campaña. En sistemas productivos tradicionales, donde se emplean menos aditivos sintéticos, la incorporación de pigmentos naturales se vuelve una estrategia clave para mejorar la presentación del producto final (Surai, 2014). El color de la carne de ave no solo representa un criterio estético, sino que también se asocia con la frescura y el valor nutricional percibido por el consumidor (Miao *et al.*, 2024). Variaciones en la pigmentación pueden influir directamente en la aceptabilidad del producto y, en consecuencia, en su valor de mercado. Estudios han demostrado que la concentración de los pigmentos dietarios que se depositan en los tejidos musculares generan las diferencias en la carne, principalmente por carotenoides. De esta manera, diversos estudios destacan que el aporte de pigmentos dietarios de origen natural constituye una herramienta práctica para mejorar las características comerciales de la carne de pollo (Surai, 2014).

La incorporación de pigmentos naturales en la producción de pollos criollos cobra mayor relevancia debido a que sus productos suelen destinarse a mercados locales que valoran la apariencia natural y saludable. El aspecto visual de la carne, especialmente su color, influye en la seguridad que perciben los consumidores y puede convertirse en un factor clave para diferenciarse de otros modelos de producción intensiva (Olusola *et al.*, 2018)

3.2.2 Pigmentos en la alimentación animal

a) Definición y origen de los pigmentos naturales

Los pigmentos naturales como carotenoides y flavonoides, se han investigado cada vez más como sustitutos de los compuestos sintéticos en la nutrición animal. Estos metabolitos secundarios no solo otorgan color a los tejidos, sino que también presentan propiedades antioxidantes capaces de mejorar el estado fisiológico de los animales y la calidad de los productos derivados. Su empleo se relaciona directamente con la tendencia de producir alimentos más seguros y sostenibles, que respondan a las exigencias actuales de los consumidores (Manuelian et al., 2021). Además, los carotenoides dietarios tienen un papel importante no sólo en la coloración de la carne, sino también en la mejora de la salud general de las aves. Se ha observado que cuando las aves consumen dietas que los incluyen, hay reducción del estrés oxidativo mediante la activación de enzimas antioxidantes, lo que beneficia la integridad celular y la calidad del producto final (Nabi *et al.*, 2020).

b) Clasificación de pigmentos naturales

Los pigmentos naturales se agrupan en distintas categorías de acuerdo con su estructura química y sus propiedades de solubilidad. Entre ellos destacan los carotenoides, solubles en lípidos y responsables de tonos amarillos, naranjas y rojos en diversos tejidos animales; los flavonoides como las antocianinas, solubles en agua, que proporcionan tonalidades rojizas, violetas o azules; las betalainas, presentes en ciertas especies vegetales como la remolacha; y las clorofilas, que otorgan color verde característico a los vegetales. En la producción animal, la mayor relevancia recae en

los carotenoides debido a su capacidad de acumularse en piel, grasa y carne, contribuyendo directamente a la apariencia y aceptación del producto final (Rodríguez *et al.*, 2023)

- **Carotenoides en la pigmentación aviar**

En la avicultura el pigmento con mayor importancia son los carotenoides ya que participan directamente con la coloración de la piel y en la carne de las aves. Estos compuestos no pueden ser sintetizados por los animales, por lo que deben ser obtenidos a través de la dieta, principalmente de ingredientes vegetales como maíz amarillo, alfalfa, pimentón o semillas de *Bixa orellana*. Además de aportar color, los carotenoides cumplen un papel fisiológico relevante como antioxidantes naturales, lo que contribuye al bienestar de las aves y a la estabilidad de la calidad del producto final (Nabi *et al.*, 2020).

Los carotenoides destacan como los pigmentos más influyentes en la industria avícola, ya que no solo determinan la apariencia externa de las aves, sino que también intervienen en procesos fisiológicos que impactan en su desempeño productivo. Estos compuestos liposolubles se absorben en el intestino y posteriormente se acumulan en los tejidos grasos y musculares, otorgando las tonalidades amarillas y rojizas características. Su presencia en la dieta es clave para mantener una carne más atractiva a nivel comercial y, al mismo tiempo, apoyar funciones biológicas relacionadas con la inmunidad y la protección antioxidante de las células (Yoshida *et al.*, 2021).

- **Xantofilas**

Este pigmento determina la coloración de la piel, grasa y la yema de huevo, aportando color a la carne. Además, intervienen en el metabolismo de los carotenoides y de la vitamina A (Gao *et al.*, 2016).

- **Clorofilas**

Estos pigmentos son encontrados en las plantas, algas y algunas microalgas con función fotosintética y son utilizados en la alimentación como fuente natural de colorantes y antioxidantes, las clorofilas aportan coloración en la yema y fortalece la salud intestinal (Kusuma *et al.*, 2025). En estudios realizados en el Perú, se ha observado que la adición de biomasa algal en las dietas permite obtener tonalidades más intensas en la yema, debido a la presencia de pigmentos como clorofilas y carotenoides en su composición (Gil, 2016)

c) Tendencia actual hacia pigmentos naturales

El sector aviar actualmente enfrenta preocupaciones regulatorias con respecto a la salud del consumidor, la percepción que este tiene al comprar el producto, es por ello que en los últimos años la alimentación de pigmentos sintéticos en las aves está siendo reemplazado por pigmentos naturales ya que cuentan con mayores beneficios no solo en la presentación del producto final sino también funcionan como antioxidantes (Saleh *et al.*, 2021).

3.2.3 Diferencias entre pigmentos sintéticos y naturales

Los pigmentos artificiales o también conocidos como sintéticos son compuestos modificados con el fin de mejorar características como estabilidad, intensidad, color y efectivizar los costos de producción, sin embargo, su uso exclusivo para la pigmentación de la yema del huevo

y la carne. Por otro lado, los pigmentos naturales son obtenidos de fuentes vegetales, animales y microbianas tal es el caso de los carotenoides, semillas por lo que en la actualidad hay un gran porcentaje de incremento por el uso de pigmentos naturales en la alimentación avícola.

3.2.4 *Bixa orellana* (Achiote) como fuente de pigmento natural

Conocida comúnmente como achiote, es una planta tropical perteneciente a la familia *Bixaceae*, cultivada principalmente en zonas cálidas de América Latina y en algunas regiones del continente asiático. Esta especie se caracteriza por producir semillas recubiertas por una sustancia pigmentada de tonos rojizos y anaranjados, empleada tradicionalmente en diferentes campos productivos como la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. La capacidad colorante del achiote se atribuye a la presencia de pigmentos carotenoides, especialmente *bixina* y *norbixina*, los cuales presentan propiedades liposolubles e hidrosolubles, respectivamente. Gracias a esta dualidad, los extractos derivados de la planta pueden ser incorporados de manera eficiente en formulaciones alimenticias y dietas destinadas a animales de producción (Valencia et al., 2023).

Su capacidad de teñir matrices alimentarias se ve influenciada por el proceso de extracción y estabilización de la bixina (Luna-Finkler et al., 2024), siendo así una alternativa confiable para sustituir los colorantes artificiales. Por otro lado, su actividad antioxidante y bacteriana es capaz de neutralizar radicales libres e inhibe patógenos (Antioksidan et al., 2010).

Por otra parte, su uso en la alimentación animal contribuye a la pigmentación de la piel y carne, sin modificar los indicadores productivos, siendo así, una fuente eficiente y sostenible (Ríos Bermeo, 2018).

3.2.5 Procesamiento y obtención del pigmento *Bixa orellana*

El componente principal del achiote (*bixina*) y su derivado hidrosoluble *norbixina*, se obtiene mediante el proceso físico- químico buscando maximizar su rendimiento y garantizando la pureza de su extracción, el método de extracción dependerá del tipo de fin y uso que este se someterá, por su composición rica en proteínas y pigmentos como se detalla en la tabla N° 1, por ejemplo, el uso en la cosmética o alimentación (Isaza Jiménez et al., 2019).

Tabla 1: Composición general de la semilla de achiote

Componentes	Porcentaje
Lípidos	2.0 – 4.8
Pigmentos	1.0 – 6.3
Proteínas	12.1 – 17.0
Carbohidratos totales	50.0
Ceniza	5.4 – 6.9
Humedad	9.6 – 13.3

Fuente: (Isaza Jiménez et al., 2019)

Por otro lado, existen diferentes procesos de extracción, entre ellas la extracción alcalina, extracción con solventes y procesos de esterificación. Sin embargo, para (Isaza Jiménez et al., 2019) la molienda de las semillas incrementa su incremento, alcanzando entre 4 % y 5 % con soluciones de KOH, que demostraron ser más eficaces que el uso de NaOH.

3.2.6 Nutrición y metabolismo del pigmento en pollos

Los compuestos solubles incorporados en la dieta, son solubilizados en el intestino delgado, donde actúan las sales biliares y las enzimas lipolíticas. Dichas sustancias promueven la formación de micelas mixtas, permitiendo el transporte de los carotenoides. Una vez absorbidos, son transportados por las lipoproteínas (quilomicrones) de muy baja densidad, hacia los tejidos con mayor contenido lipídico, piel y musculo (Bohn *et al.*, 2017).

El pigmento incluido en la dieta de las aves se ve reflejado en la coloración del ave cuando es efectivamente absorbido, transportado y acumulado en los tejidos, evitando su degradación durante el proceso metabólico, sin embargo, factores fisiológicos como la actividad enzimática del hígado, la capacidad de retención lipídica y el ritmo metabólico propio de cada individuo. Aunque las investigaciones sobre pigmentos provenientes del achiote en pollos criollos aún son limitadas, los estudios realizados con carotenoides de composición semejante demuestran que la intensidad del color logrado está determinada tanto por el nivel de inclusión en la dieta como por la eficiencia metabólica del ave para asimilarlos y depositarlos (Pérez-Vendrell *et al.*, 2001).

3.2.7 Pollo Criollos

El pollo criollo es una especie aviar que, se ha adaptado de forma natural a los sistemas de crianza tradicionales que predominan en las zonas rurales. Esta adaptación le otorga una notable rusticidad, permitiéndole desarrollarse adecuadamente en condiciones ambientales variables y con recursos alimenticios limitados. En investigaciones realizadas en la región andina del norte del Perú, se ha observado que los genotipos de pollos criollos, en comparación con las líneas comerciales mejoradas, presentan un menor peso al sacrificio, menor contenido graso en la carne de pechuga y un rendimiento de canal ligeramente inferior; sin embargo, mantienen características

de calidad similares en parámetros como el pH, la pérdida por goteo y la pérdida por cocción (Paredes & Vásquez, 2020). Además, en cuanto a su fenotipo y manejo, estudios indican que estas aves presentan variabilidad en la coloración del plumaje, patas y crestas, lo que favorece su identificación en la granja, y son criadas bajo sistemas con mínima inversión en infraestructura, aprovechando dietas locales y manejos tradicionales.

3.2.8 Calidad de carne en pollos criollos

Estas aves suelen presentar un menor contenido de grasa intramuscular, lo que resulta en una carne más magra, y muestran valores similares en parámetros clave de calidad como pH, pérdida por goteo y de cocción en comparación con aves mejoradas, lo que indica estabilidad en su perfil fisicoquímico. Además, la carne de pollo criollo es apreciada por su firmeza y sabor más intenso, atributos que se valoran particularmente en sistemas de producción rural o de pequeña escala donde la rusticidad del ave aporta al carácter del producto final. Esa combinación de magreza (menos grasa) y consistencia en la calidad la convierte en una opción sumamente interesante para estudios de nutrición alternativa, pigmentación u otros aditivos funcionales en aves adaptadas a ambientes andinos o rurales (Paredes & Vásquez, 2020)

IV. MATERIALES Y METODOLOGIA

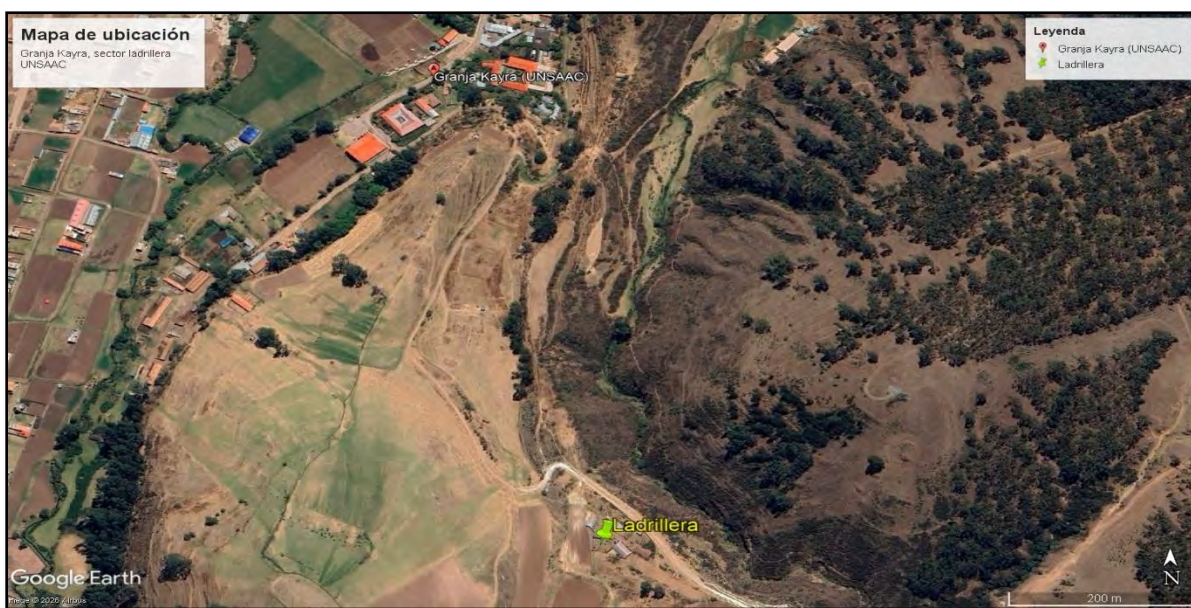
4.1 Ámbito de estudio

La investigación se desarrolló en el departamento del Cusco, provincia del Cusco, distrito de San Jerónimo, específicamente en el Centro Agronómico K'ayra, en instalaciones del sector ladrillera perteneciente a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), situado a 3219 msnm. con temperatura anual promedio 10 °C y 13 °C, con temperaturas máximas de 20-22 °C y temperaturas mínimas de 0 °C o valores ligeramente inferiores durante la noche.

4.2 Ubicación geográfica

- Latitud: -13.558976418661953
- Longitud: -71.87632441520691
- Altitud: 3,219 m.s.n.m.

Figura 1: Mapa de ubicación Granja Kayra, Sector Ladrillera



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth Pro (2026).

4.3 Materiales

4.3.1 Materiales de campo

- Campana criadora (calentadores a gas).
- Bebederos automáticos.
- Comederos para pollitos bebé.
- Mochila de fumigación.
- Termohigrómetro.
- Cáscara de arroz

4.3.2 Materiales de laboratorio

- Balanza electrónica de 10 kg (precisión 1 g).
- Equipo digital YolkFan™.

4.3.3 Materiales de gabinete

- Laptop
- Impresora
- Fichas de registro

4.4 Métodos

4.4.1 Tipo y nivel de investigación

El presente estudio corresponde a una investigación de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y de nivel explicativo, ya que se orienta a resolver un problema práctico relacionado con la mejora de la pigmentación de la carne en pollos criollos mediante la inclusión de *Bixa orellana* en la dieta, y busca determinar la relación de causa–efecto entre la variable independiente (niveles de inclusión del pigmento natural) y las variables dependientes (pigmentación de la carne e indicadores productivos como ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y rendimiento de carcasa), mediante la medición objetiva y el análisis estadístico de los datos obtenidos.

4.4.2 Población

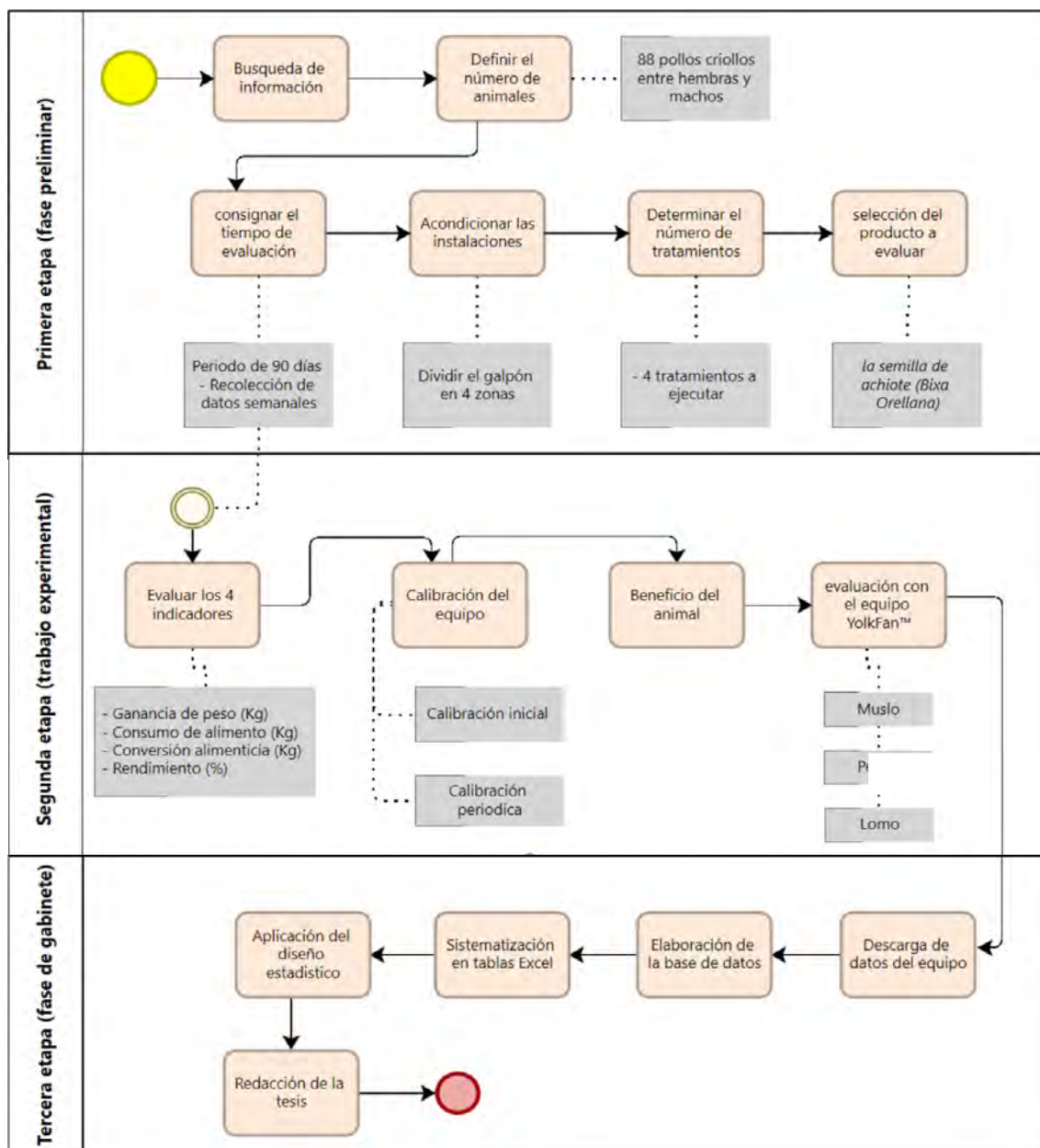
La población experimental estuvo conformada por 88 pollos criollos, entre machos y hembras, seleccionados por presentar características fenotípicas y condiciones sanitarias homogéneas al inicio del estudio. Las aves fueron criadas bajo un mismo sistema de manejo, alimentación y condiciones ambientales en las instalaciones del Centro Agronómico K'ayra de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

La cantidad de animales fue determinada en función a los requerimientos del diseño experimental completamente al azar (DCA), considerando la distribución equilibrada de las unidades experimentales, la disponibilidad de infraestructura y la capacidad de manejo durante el periodo de evaluación. Los pollos fueron distribuidos aleatoriamente en cuatro tratamientos experimentales, correspondientes a diferentes niveles de inclusión de harina integral de achote (*Bixa orellana*) en la dieta.

4.4.3 Etapas de la investigación

El proceso metodológico de la siguiente investigación de tipo experimental se divio en tres fases, como se detalla en el siguiente esquema.

Figura 2: Proceso metodológico de la investigación



Fuente: Elaboración propia

4.4.3.1 Fase pre-experimental

La fase preliminar del estudio se estructuró con el objetivo de planificar y preparar correctamente las condiciones requeridas para cumplir con la evaluación del efecto que causa el pigmento natural *Bixa orellana* (Achiote) en la pigmentación de la carne de los pollos criollos.

A. Definición de número de animales

Se seleccionaron un total de 88 pollos criollos, considerando un equilibrio entre hembras y machos. Esta cantidad fue determinada con base a los requerimientos del diseño experimental y tomando en consideración la capacidad disponible de las instalaciones.

B. Consignación del tiempo de evaluación

El periodo de ejecución para la evaluación se estableció en 90 días, durante los cuales se realizaron un control semanal para la recopilación de la información sobre los indicadores relevantes del estudio.

C. Acondicionamiento de las instalaciones

Se adaptaron las instalaciones avícolas para garantizar condiciones óptimas de manejo. El galpón fue dividido en cuatro zonas, cada una correspondiente a un tratamiento diferente, con el fin de mantener un control adecuado sobre la administración del producto y evitar contaminación cruzada y facilitar la toma de datos.

4.4.3.2 Fase experimental

Este trabajo experimental se estructuró en las siguientes fases para llegar a cumplir con los objetivos específicos de la investigación:

A. Evaluación de indicadores productivos:

Durante el desarrollo del experimento, se evaluaron semanalmente cuatro indicadores zootécnicos clave, con el fin de determinar el desempeño productivo de las aves bajo cada uno de los tratamientos. Estos indicadores fueron:

- **Ganancia de peso (kg):** Incremento de peso corporal registrado por cada ave durante el periodo experimental. Realizando controles semanales cada 7 días para el registro correspondiente. La ganancia de peso se calculará utilizando la fórmula:

$$\text{Ganancia de peso (Kg)} = \text{Peso actual(kg)} - \text{peso inicial(kg)}.$$

- **Consumo de alimento (kg):** Cantidad total de alimento ingerido por las aves en cada tratamiento. Para ello se registro el total de alimento balanceado en kilogramos consumido por tratamiento, con el fin de calcular el consumo promedio por día, semana y acumulado, mediante la siguiente formula:

$$\text{Consumo de alimento} = \text{Alimento suministrado} - \text{alimento sobrante}$$

- **Conversión alimenticia (kg):** Relación entre el alimento consumido y el peso ganado, como medida de eficiencia alimenticia.

Se realizará semanalmente en cada una de las unidades experimentales.

$$\text{Conversión alimenticia} = \text{Alimento consumido} / \text{Peso vivo}$$

- **Rendimiento en carcasa (%):** Porcentaje de aprovechamiento de la canal tras el beneficio del animal.

Estos parámetros fueron fundamentales para cumplir con el segundo objetivo específico de la investigación, relacionado con la evaluación del desempeño productivo de los pollos criollos.

Para ello todos los datos se fueron registrando en la siguiente ficha de registro:

Figura 3: Ficha de registro

FICHA DE REGISTRO DE PARAMETROS PRODUCTIVOS - POLLOS CRIOLLOS								
FECHA	SEMANA	ID DEL AVE	TRATAMIENTO	PESO INICIAL (Kg)	PESO FINAL (Kg)	GANANCIA DE PESO (Kg)	CONSUMO DE ALIMENTO (Kg)	CONVERSIÓN ALIMENTICIA (Kg)
1	1	X						
2								
3								
4								
5	2							
6								
7								
8								
9	3							
10								
11								
12								

B. Tratamientos

Se aplicaron cuatro tratamientos experimentales con diferentes niveles de inclusión de la harina integral de achiote (*Bixa orellana*) como pigmentante natural, en la dieta, incorporada durante la etapa de acabado del pollo criollo, por lo tanto, se substituyó parcialmente los componentes generales de un alimento balanceado.

Los tratamientos fueron los siguientes:

- **Tratamiento 1 (T1):** Dieta control, sin inclusión de harina de achiote.
- **Tratamiento 2 (T2):** Dieta con inclusión del 0,25% de harina integral de achiote.
- **Tratamiento 3 (T3):** Dieta con inclusión del 0,50% de harina integral de achiote.
- **Tratamiento 4 (T4):** Dieta con inclusión del 0,75% de harina integral de achiote.

La inclusión de la harina de achiote se realizó en sustitución parcial de los ingredientes del alimento balanceado comercial, con el objetivo de evaluar su efecto sobre las variables productivas en pollos criollos en la fase final de engorde.

Las dietas experimentales fueron formuladas y preparadas por la planta de alimentos balanceados de la tienda Inkave, el cual brindo su informe y composición nutricional que se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 2: Dieta experimental y valor nutritivo estimado

INSUMOS	CONTROL	T1	T2	T3
Maíz amarillo	56.96	55.96	54.96	53.96
Torta de soya	26.38	26.38	26.38	26.38
Afrecho	1.70	1.70	1.70	1.70
Harina integral de soya	1.00	1.00	1.00	1.00
Elan	0.20	0.20	0.20	0.20
Harina de pescado	2.00	2.00	2.00	2.00
Aceite de soya	1.50	1.50	1.50	1.50
Valina	0.14	0.14	0.14	0.14
Coccidiostato	0.02	0.02	0.02	0.02
Secuestrante de micotoxinas	0.10	0.10	0.10	0.10
Fungicida	0.10	0.10	0.10	0.10
Promotor de Crecimiento	0.10	0.10	0.10	0.10
L-Treonina	0.14	0.14	0.14	0.14
Carbonato de calcio granulado	3.50	3.50	3.50	3.50
Carbonato de calcio en polvo	3.50	3.50	3.50	3.50
Fosfato monodicálcico	0.76	0.76	0.76	0.76
Sal común	0.20	0.20	0.20	0.20
Dl-Metionina	0.44	0.44	0.44	0.44
Lisina HCL 84%	0.48	0.48	0.48	0.48
Bicarbonato de sodio	0.26	0.26	0.26	0.26
Fitasa	0.02	0.02	0.02	0.02
Premezcla de vitaminas y minerales	0.20	0.20	0.20	0.20
Betaina	0.20	0.20	0.20	0.20
Harina de achiote	0.00	0.25	0.50	0.75
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00
Valor nutricional calculado:				
Energía metabolizable (Kcal/kg)	2900	2900	2900	2900
Proteína cruda, %	20.81	20.79	20.79	20.79
Lisina %	1.1	1.1	1.1	1.1
Metionina + Cistina digestible %	0.89	0.89	0.89	0.89
Calcio, %	3.1	3.1	3.1	3.1
Fósforo disponible, %	0.32	0.32	0.32	0.32
Sodio, %	0.2	0.2	0.2	0.2

Fuente: planta de alimentos balanceados de la tienda Inkave

C. Calibración del equipo

Para asegurar la precisión de las mediciones de coloración, se realizó la calibración del equipo Digital YolkFan™, el cual funciona bajo principios de espectrofotometría. Esta calibración se llevó a cabo en dos momentos:

Calibración inicial: Antes del inicio de las mediciones, para establecer valores base confiables.

Calibración periódica: Ejecutada de forma programada durante todo el experimento, con el fin de mantener la fiabilidad de los datos obtenidos.

D. Beneficio de los animales

Al término del periodo experimental (90 días), los pollos fueron sacrificados bajo normas técnicas y éticas establecidas para este tipo de estudios. Posteriormente, se procedió a la recolección de muestras de carne para su análisis.

E. Evaluación de la pigmentación con YolkFan™

Al finalizar el periodo experimental y posterior al beneficio de las aves, se tomaron muestras de carne de tres cortes anatómicos representativos:

- Pecho

Las muestras fueron evaluadas de forma individual, bajo condiciones controladas de luz, temperatura y humedad para evitar alteraciones en la percepción del color. Antes del uso, el equipo Digital YolkFan™ fue debidamente calibrado para garantizar la precisión de las mediciones.

La metodología de análisis consistió en colocar la superficie del corte cárnico directamente frente al sensor óptico del equipo, registrando los valores de color correspondientes según la escala cromática digital interna del YolkFan™.

Figura 4: Equipo YolkFan™.



El Digital YolkFan™ es un dispositivo utilizado para cuantificar la intensidad del color en productos de origen animal basado en principios de espectrofotometría, diseñado para cuantificar la intensidad del color en productos de origen animal. El equipo funciona bajo principios de espectrofotometría, detectando longitudes de onda reflejadas por el tejido y asignando valores cromáticos en una escala estandarizada. Dichos valores se correlacionan con la presencia de carotenoides, particularmente la bixina del achiote.

A continuación, se detalla la escala de colores adaptado para la medición de pigmentación en la carne de pollo (Tabla N°3). Aunque inicialmente fue diseñada para el uso de las yemas de huevo.

Tabla 3: Escala de colores Digital YolkFan™

Escala de color YolkFan™		
Valor YolkFan™	Descripción del color	Interpretación en carne
1 - 2	Amarillo muy pálido	Coloración natural sin pigmento; carne blanca
3 - 4	Amarillo pálido	Coloración leve, baja presencia de carotenoides
5 - 6	Amarillo medio	Nivel moderado de pigmentación, efecto visible
7 - 8	Amarillo intenso	Pigmentación notoria; indicativo de buena absorción del pigmento
9 - 10	Anaranjado suave	Alta pigmentación; carne visiblemente coloreada
11- 12	Anaranjado intenso	Pigmentación máxima; presencia elevada de bixina

Fuente: Nutrición y Salud Animal dsm-firmenich YolkFan™

4.4.3.3 Fase de gabinete

Durante esta fase se llevó a cabo el procesamiento y análisis de los datos recolectados en campo. El proceso metodológico seguido se describe a continuación:

A) Descarga de datos

Los registros obtenidos con el Digital YolkFan™ fueron transferidos mediante conectividad USB o Bluetooth hacia una computadora, lo que permitió la sistematización de la información y su posterior interpretación. El registro y almacenamiento de datos cuentan con la capacidad de guardar los registros históricos, es decir nos facilita hacer evaluaciones a largo plazo garantizando la precisión en la toma de datos para su próxima interpretación, cabe recalcar que toda toma de datos requiere trazabilidad.

B) Diseño estadístico

Después de la sistematización de los datos en hojas de cálculo de Excel, la información fue sometida a un análisis estadístico mediante un diseño Completamente al Azar (DCA) con un solo factor fijo, correspondiente a los niveles de inclusión de harina integral de *Bixa orellana* en la dieta, mientras que el peso inicial de las aves fue registrada como información descriptiva.

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software InfoStat, con el objetivo de determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

- **Y_{ij}** : respuesta productiva del pollo al tratamiento
- **μ** : media general
- **τ_i** : efecto del tratamiento
- **ϵ_{ij}** : error experimental

Para la comparación de medias se empleó la prueba de Tukey, considerando los niveles de significancia: de:

- **$P \leq 0,05$** : diferencia estadísticamente significativa.
- **$0,05 < P \leq 0,1$** : se considera una tendencia (no significativa, pero puede indicar un posible efecto).

V. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Nivel de pigmentación del pecho en pollos criollos con Digital YolkFan™

El color de la carne del pecho se evaluó utilizando el equipo Digital YolkFan™, que funciona con tecnología de espectrofotometría. Este instrumento permite medir en tres componentes:

- L: que representa la luminosidad o claridad del color
- a: que indica la intensidad del tono rojizo
- b: que corresponde a la tonalidad amarilla de la muestra.

En la Tabla 4 se muestran los valores promedio y la desviación estándar de estos parámetros obtenidos para los cuatro tratamientos estudiados: el grupo control (sin harina de achiote) y las tres dietas con diferentes niveles de inclusión del pigmento natural *Bixa orellana* (0.25%, 0.50% y 0.75%).

Tabla 4: Parámetros de color (L, a, b) del músculo pectoral en pollos criollos bajo distintos niveles de inclusión de harina integral de achiote.

Tratamiento	n	L (Luminosidad)	a (Rojo)	b (Amarillo)
Control (0%)	3	61.39 ± 1.02	2.73 ± 0.06	19.28 ± 1.41
T1 (0.25%)	5	61.37 ± 1.03	2.58 ± 0.13	19.07 ± 0.71
T2 (0.50%)	5	61.08 ± 0.80	2.62 ± 0.04	18.85 ± 0.59
T3 (0.75%)	5	61.19 ± 0.69	2.63 ± 0.23	18.84 ± 0.70

Los resultados muestran que la luminosidad (L) se mantuvo estable en todos los tratamientos, con valores entre 61.08 y 61.39, lo que indica que la carne conservó un tono claro y uniforme, sin cambios evidentes en su brillo o claridad. Por otro lado, el componente rojo (a) presentó valores bajos y bastante similares entre tratamientos, fluctuando entre 2.58 y 2.73, reflejando una pigmentación rojiza leve y homogénea en el tejido muscular. Del mismo modo, el componente amarillo (b) osciló entre 18.84 y 19.28, evidenciando que la tonalidad amarilla fue tenue y no se modificó de forma significativa con el incremento del nivel de harina de achiote en la dieta.

Los análisis estadísticos realizados mediante ANOVA y la prueba de Tukey permitieron conocer cómo influyó la inclusión de diferentes niveles de harina integral de achiote (*Bixa orellana*) en el color del músculo pectoral de los pollos criollos. De acuerdo a los resultados (Tabla N°5), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para ninguno de los parámetros evaluados (L,a,b). Por lo tanto, indica que el incremento de manera gradual de la harina de achiote, no produjo cambios notables en el pecho de las aves.

Tabla 5: Comparación de medias de los parámetros de color (L, a, b) del músculo pectoral de pollos criollos

Parámetro	Control (0%)	T1 (0.25%)	T2 (0.50%)	T3 (0.75%)	p-valor
L (Luminosidad)	61.39 ± 1.02 ^a	61.37 ± 1.03 ^a	61.08 ± 0.80 ^a	61.19 ± 0.69 ^a	0.887
a (Rojo)	2.73 ± 0.06 ^a	2.58 ± 0.13 ^a	2.62 ± 0.04 ^a	2.63 ± 0.23 ^a	0.636
b (Amarillo)	19.28 ± 1.41 ^a	19.07 ± 0.71 ^a	18.85 ± 0.59 ^a	18.84 ± 0.70 ^a	0.778

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Los resultados obtenidos no mostraron diferencias significativas en los parámetros del pecho (L, a y b), se diferencian en parte de lo demostrado en el trabajo que realizó (Luiggi et al., 2020) en vista que los autores encontraron un aumento en la intensidad del color amarillo y una mejora en la textura de la carne de pollos de engorde al incorporar bixina como fuente de carotenoides en la dieta. Sin embargo, esto se puede atribuir a factores como la genética del ave y los niveles de inclusión a la dieta, ya que las diferencias en la línea de pollos, ellos utilizaron la línea Cobb 500, a comparación del estudio que utilizó pollos criollos y sus características fisiológicas podrían haber limitado la expresión visible del color en el músculo pectoral, aun cuando se incorporó harina de achiote en la dieta. De manera similar (Rojas Perea, 2016) identifica diferencias notables en la pigmentación al agregar niveles de harina de achiote del 1.5% y 2% en la alimentación de pollos Cobb 500, lo que demuestra que la efectividad del achiote en la pigmentación está directamente relacionada con la concentración aplicada. Por lo tanto, podríamos asumir que los niveles más bajos de inclusión (inferiores al 1%) podrían no haber sido adecuados para producir una acumulación visible de pigmentos en los pollos criollos.

Por otro lado, (Castañeda et al., 2005) señala que los pigmentos naturales pueden realzar el color de la piel, aunque no siempre producen modificaciones significativas en la carne. La reacción pigmentaria difiere según el tipo de tejido analizado, ya que la piel acumula de manera más eficiente los carotenoides por su mayor contenido graso, mientras que el pecho de ave siendo un tejido más magro, muestra una menor intensidad de color. Igualmente, los autores indican que los pigmentos sintéticos tienen una eficiencia de absorción y depósito superior en comparación con los naturales, lo que podría aclarar la limitada respuesta pigmentante observada en el estudio al usar solo harina de achiote como fuente de pigmento natural.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten inferir que la inclusión de harina de achiote en niveles inferiores al 1% no genera cambios significativos en la pigmentación del pecho de los pollos criollos. Esto podría deberse tanto a la baja concentración del pigmento como a las características fisiológicas propias de esta línea, que limitan la absorción y el depósito de carotenoides en los tejidos magros. Aun así, el uso de pigmentos naturales como el achiote representa una alternativa viable desde el punto de vista productivo y ambiental, al no afectar la apariencia ni la calidad visual de la carne.

5.2. Indicadores productivos

Los resultados obtenidos a lo largo de las 16 semanas de evaluación permitieron describir el comportamiento productivo de los pollos criollos alimentados con diferentes niveles de harina integral de achiote (*Bixa orellana*). En la tabla 6 se presentan los valores promedio de peso vivo, ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia, agrupados en periodos de tres a cuatro semanas para facilitar la interpretación de las tendencias de crecimiento y eficiencia alimenticia observadas durante la investigación.

Tabla 6: Indicadores productivos promedio de pollos criollos alimentados con diferentes niveles de harina integral de achiote (*Bixa orellana*)

Periodo (Semanas)	Peso vivo (g)	Ganancia de peso (g)	Consumo de alimento (g)	Conversión alimenticia
1 – 3	305 ± 12.5	189 ± 8.4	132 ± 6.3	1.42 ± 0.09
4 – 6	868 ± 25.3	563 ± 18.2	243 ± 10.7	1.56 ± 0.08
7 – 9	1576 ± 35.8	708 ± 27.6	303 ± 11.2	1.62 ± 0.07
10 – 12	2307 ± 42.1	731 ± 30.1	334 ± 12.6	1.68 ± 0.06
13 – 16	3121 ± 47.9	814 ± 33.4	379 ± 13.8	1.72 ± 0.05

En el primer periodo (1–3 semanas), las aves alcanzaron un peso promedio de 305 g, con una ganancia de 189 g y un consumo de 132 g por ave, obteniendo una conversión alimenticia de 1.42. Este comportamiento es característico de la fase inicial del crecimiento, en la que el metabolismo de las aves aún está en desarrollo y su capacidad para transformar el alimento en masa corporal es limitada. Durante las semanas intermedias y finales del experimento (4–16 semanas), los pollos criollos mostraron un incremento constante en su peso corporal, acompañado de un mayor consumo de alimento. El peso promedio se elevó de 868 g a 3121 g, mientras que la ganancia acumulada alcanzó los 814 g, evidenciando un desarrollo progresivo y sostenido. La conversión alimenticia presentó una variación leve, con valores que oscilaron entre 1.56 y 1.72, comportamiento esperado conforme las aves aumentan su tamaño y sus requerimientos energéticos. En conjunto, estos resultados reflejan una adecuada eficiencia en la utilización del alimento y confirman que la inclusión de harina integral de achiote en la dieta no afectó negativamente el desempeño productivo, lo que respalda su uso como pigmentante natural viable dentro de sistemas avícolas sostenibles.

Estos resultados se alinean con lo descrito por (Rojas Perea, 2016) quien reportó que la inclusión de harina de achiote en niveles de hasta 2% no genera alteraciones significativas en el crecimiento ni en la conversión alimenticia de pollos de engorde. De manera similar, (Luiggi et al., 2020) destacaron que la bixina puede mejorar la calidad de la carne sin afectar los parámetros zootécnicos. En conjunto, los hallazgos del presente estudio confirman que la harina integral de achiote constituye una alternativa natural y viable para la alimentación avícola, al mantener un desempeño productivo estable y, al mismo tiempo, favorecer el desarrollo de sistemas de producción más sostenibles y saludables.

5.2.1 Consumo de alimento

El consumo de alimento es un indicador clave para evaluar la eficiencia nutricional y el desempeño productivo de las aves. En la tabla 7 se muestran los valores promedio de consumo semanal por tratamiento durante las 16 semanas de evaluación. No se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$), lo que indica que la inclusión gradual de harina integral de achiote (*Bixa orellana*) hasta un nivel del 0.75% no modificó el patrón de consumo de los pollos criollos. El consumo aumentó de manera progresiva, desde aproximadamente 130 g por ave en las primeras semanas hasta cerca de 380 g en la etapa final, reflejando un comportamiento fisiológico normal.

Tabla 7: Consumo de alimento semanal (g/ave) por tratamiento en pollos criollos

Periodo (Semanas)	Control (0%)	T1 (0.25%)	T2 (0.50%)	T3 (0.75%)	p-valor (ANOVA)
1 – 3	128.00 ± 7.10 ^a	133.00 ± 6.90 ^a	135.00 ± 7.40 ^a	131.00 ± 6.80 ^a	0.803
4 – 6	238.00 ± 11.40 ^a	244.00 ± 10.80 ^a	247.00 ± 10.60 ^a	241.00 ± 10.90 ^a	0.749
7 – 9	300.00 ± 12.10 ^a	305.00 ± 11.90 ^a	307.00 ± 11.80 ^a	302.00 ± 12.20 ^a	0.813
10 – 12	332.00 ± 12.70 ^a	335.00 ± 12.50 ^a	338.00 ± 12.60 ^a	333.00 ± 12.40 ^a	0.764
13 – 16	376.00 ± 13.20 ^a	380.00 ± 13.00 ^a	382.00 ± 13.10 ^a	378.00 ± 13.30 ^a	0.791

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

5.2.2 Conversión alimenticia

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$), lo que indica que la inclusión de harina integral de achiote (*Bixa orellana*) hasta un nivel del 0.75% no afectó la eficiencia de aprovechamiento del alimento por parte de los pollos criollos. En la tabla 8 se presentan los valores promedio de conversión alimenticia por tratamiento durante los diferentes periodos de evaluación.

Tabla 8: Conversión alimenticia por tratamiento en pollos criollos

Periodo (Semanas)	Control (0%)	T1 (0.25%)	T2 (0.50%)	T3 (0.75%)	p-valor (ANOVA)
1 – 3	1.43 ± 0.09 ^a	1.39 ± 0.08 ^a	1.38 ± 0.07 ^a	1.41 ± 0.10 ^a	0.617
4 – 6	1.55 ± 0.07 ^a	1.56 ± 0.08 ^a	1.57 ± 0.09 ^a	1.56 ± 0.08 ^a	0.884
7 – 9	1.63 ± 0.06 ^a	1.61 ± 0.07 ^a	1.62 ± 0.06 ^a	1.63 ± 0.07 ^a	0.842
10 – 12	1.67 ± 0.06 ^a	1.68 ± 0.06 ^a	1.68 ± 0.07 ^a	1.67 ± 0.06 ^a	0.904
13 – 16	1.72 ± 0.05 ^a	1.71 ± 0.05 ^a	1.72 ± 0.06 ^a	1.71 ± 0.06 ^a	0.856

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

A lo largo del ensayo, la conversión alimenticia se mantuvo dentro de valores normales, mostrando un ligero incremento conforme avanzó el crecimiento de las aves, pasando de 1.43 en las primeras semanas a 1.72 en la etapa final. Esta variación es típica en el desarrollo de pollos criollos, ya que a medida que el ave gana peso, su metabolismo demanda más energía para mantener las funciones corporales y completar la fase de engorde, lo que naturalmente reduce la eficiencia en la conversión del alimento en carne.

5.2.3 Rendimiento de carcasa

El rendimiento de carcasa representa la relación entre el peso eviscerado y el peso vivo del ave al momento del sacrificio, y constituye un indicador clave de la eficiencia productiva y del aprovechamiento comercial. En la tabla 9 se muestran los resultados promedio de rendimiento de carcasa por tratamiento.

Tabla 9: Rendimiento de carcasa por tratamiento en pollos criollos

Tratamiento	Rendimiento de carcasa (%) $\pm$ DE	n
Control (0%)	81.44 $\pm$ 0.30	3
T1 (0.25%)	79.67 $\pm$ 1.22	5
T2 (0.50%)	80.25 $\pm$ 2.28	5
T3 (0.75%)	79.85 $\pm$ 2.22	4

El rendimiento de carcasa promedio varió entre 79.67 % y 81.44 %, siendo el grupo control el que alcanzó el valor más alto y el tratamiento T1 (0.25 %) el más bajo. Estas variaciones fueron mínimas y no mostraron diferencias significativas, lo que indica que la adición de harina integral de *Bixa orellana* hasta un nivel del 0.75 % no afectó la eficiencia del aprovechamiento de la canal.

Estos resultados coinciden con los hallazgos de (Rojas Perea, 2016) quien observó que niveles de harina de achiote inferiores al 2 % no alteran el rendimiento de canal en pollos de carne. De manera similar, (Luiggi et al., 2020) y (Kevin Guzmán et al., 2024) señalaron que los pigmentos naturales derivados del achiote no modifican los parámetros productivos ni comprometen el desempeño general de las aves.

Por lo tanto, los resultados del presente estudio respaldan la idea de que la harina integral de *Bixa orellana* puede emplearse como un aditivo natural y seguro, capaz de mejorar el valor funcional del alimento sin afectar la productividad ni el rendimiento de carcasa de los pollos criollos.

El estudio permitió comprobar que la inclusión de harina integral de *Bixa orellana* en dietas para pollos criollos no genera efectos adversos sobre los parámetros productivos ni sobre el rendimiento de carcasa, manteniéndose todos los indicadores dentro de los rangos normales reportados para esta especie. Aunque no se evidenciaron cambios significativos en la pigmentación del músculo pectoral, los resultados confirman que el uso del achiote como aditivo natural es seguro, estable y compatible con la fisiología de las aves criollas, lo que respalda su potencial aplicación en la avicultura rural. Asimismo, la estabilidad observada en la coloración y en el rendimiento demuestra que el pigmento natural no interfiere con el metabolismo ni con la eficiencia alimenticia, lo cual representa una ventaja frente a los pigmentantes sintéticos, que suelen generar costos adicionales y posibles efectos residuales. Desde un enfoque productivo y ambiental, estos hallazgos cobran relevancia al evidenciar que la *Bixa orellana* puede aprovecharse como recurso vegetal local, de bajo costo y fácil disponibilidad, contribuyendo a fortalecer la sostenibilidad y el valor agregado de la producción avícola criolla.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La inclusión de harina integral de *Bixa orellana* en la dieta de pollos criollos hasta un nivel del 0.75 % no modificó significativamente la pigmentación del pecho manteniéndose los valores de luminosidad (L), tono rojo (a) y tono amarillo (b) dentro de rangos normales y homogéneos. Esto indica que el pigmento natural no ejerce un efecto perceptible sobre el color de la carne a dosis bajas.
- Los parámetros productivos como el peso final, ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia, no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, ($p > 0.05$), los cuales se mantuvieron dentro de valores normales para la especie, lo que demuestra que la harina integral de *Bixa orellana* puede ser incorporada en la alimentación de pollos criollos sin afectar su crecimiento ni su eficiencia alimenticia. Demostrando que es una alternativa natural y segura frente a los pigmentantes sintéticos, ya que no afecta el rendimiento productivo ni la calidad de la carne de los pollos criollos. Su uso representa una opción sostenible y de bajo costo para sistemas avícolas rurales, al aprovechar un recurso vegetal local con potencial funcional.

6.2 Recomendaciones

- Evaluar niveles superiores de inclusión de harina integral de *Bixa orellana* (por encima del 1 %) para determinar el punto óptimo en el que se manifiesten cambios significativos en la pigmentación de la carne o en otros tejidos como la piel y los tarsos.
- Ampliar el tiempo de suplementación y considerar diferentes etapas de crecimiento, con el fin de estudiar la posible acumulación gradual de pigmentos naturales en los tejidos musculares y grasos.
- Promover el uso del achiote como recurso vegetal local, especialmente en comunidades rurales o pequeños productores, fomentando prácticas avícolas sostenibles, de bajo costo y con valor agregado ambiental.
- Realizar estudios comparativos con pigmentantes sintéticos o comerciales, con el objetivo de establecer de manera precisa la eficacia, estabilidad y costo-beneficio del uso de *Bixa orellana* en la alimentación avícola.
- Realizar una análisis de relación beneficio – costo para hallar la viabilidad económica

VII. BIBLIOGRAFIA

- Antioksidan, A., Pigmen, A., Selaput, B., Kesumba, B., Orellana, B., Pipin, L.), Kurniawati, T., Soetjipto, H., & Limantara, L. (2010). ANTIOXIDANT AND ANTIBACTERIAL ACTIVITIES OF BIXIN PIGMENT FROM ANNATTO (*Bixa orellana* L.) SEEDS. *Indonesian Journal of Chemistry*, 7(1), 88–92. <https://doi.org/10.22146/IJC.21719>
- Bohn, T., Desmarchelier, C., Dragsted, L. O., Nielsen, C. S., Stahl, W., Rühl, R., Keijer, J., & Borel, P. (2017). Host-related factors explaining interindividual variability of carotenoid bioavailability and tissue concentrations in humans. *Molecular Nutrition & Food Research*, 61(6), 1600685. <https://doi.org/10.1002/MNFR.201600685>
- Castañeda, M. P., Hirschler, E. M., & Sams, A. R. (2005). Skin pigmentation evaluation in broilers fed natural and synthetic pigments. *Poultry Science*, 84(1), 143–147. <https://doi.org/10.1093/PS/84.1.143>
- Isaza Jiménez, I., Jaramillo Valencia, T., Fernanda, L., Uribe, P., León, G., & González, P. (2019). *Evaluación del proceso de extracción alcalina de bixina de semillas de achote (Bixa orellana)*.
- Kevin Guzmán, Freddy Alcívar, Guillermo Intriago, & Rosa González. (2024). 2024HarinadeachioteBixaorellanaLenelmejoramientoorganolpticoycoloracinenpollosdeeng orde. *Bionatura*, 9. <https://doi.org/DOI:10.21931/RB/2024.09.02.2>
- Luiggi, F. G., Pacheco, P. D. G., Racanicci, A. M. C., de Souza Miranda Muynarsk, E., Fasanaro, R., & Sartori, J. R. (2020). USO DE BIXINA NA DIETA DE FRANGOS DE CORTE E SEUS EFEITOS NO DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E QUALIDADE DA

CARNE. *Archives of Veterinary Science*, 25(1), 95–109.

<https://doi.org/10.5380/AVS.V25I1.67904>

Luna-Finkler, C. L., Gomes, A. da C., de Aguiar Júnior, F. C. A., Ribeiro, E., de Melo Barbosa, R., Severino, P., Santini, A., & Souto, E. B. (2024). From Extraction to Stabilization: Employing a 22 Experimental Design in Developing Nutraceutical-Grade Bixin from *Bixa orellana* L. *Foods* 2024, Vol. 13, Page 1622, 13(11), 1622.

<https://doi.org/10.3390/FOODS13111622>

Manuelian, C. L., Pitino, R., Simoni, M., Mavrommatis, A., De Marchi, M., Righi, F., & Tsiplakou, E. (2021). Plant feed additives as natural alternatives to the use of synthetic antioxidant vitamins on livestock mammals' performances, health, and oxidative status: A review of the literature in the last 20 years. In *Antioxidants* (Vol. 10, Issue 9). MDPI.

<https://doi.org/10.3390/antiox10091461>

Martínez, Y., Orozco, C. E., Montellano, R. M., Valdivié, M., & Parrado, C. A. (2021). Use of achiote (*Bixa orellana* L.) 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>

Mayulu, H., Rahman, A., & Yusuf, R. (2019). Consumer Preference of Broiler Meat Attributes in Traditional Markets. *Hasanuddin Journal of Animal Science (HAJAS)*, 28–36.

<https://doi.org/10.20956/HAJAS.V1I2.9877>

Miao, Q., Si, X., Zhao, Q., Zhang, H., Qin, Y., Tang, C., & Zhang, J. (2024). Deposition and enrichment of carotenoids in livestock products: An overview. *Food Chemistry: X*, 21, 101245. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2024.101245>

- Nabi, F., Arain, M. A., Rajput, N., Alagawany, M., Soomro, J., Umer, M., Soomro, F., Wang, Z., Ye, R., & Liu, J. (2020). Health benefits of carotenoids and potential application in poultry industry: A review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(6), 1809–1818. <https://doi.org/10.1111/JPN.13375>
- Naveda Chirinos, M. E. (2014). *Efecto del extracto de semilla de achiote (Bixa orellana L.) en reemplazo de vitamina E sobre la respuesta productiva y esto antioxidante de pollos de carne de 21 días de edad*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2385>
- Olusola, O. O., Adeshola, A. T., Oshibanjo, O. D., & Balogun, I. O. (2018). Consumer Perception of Chicken Meat from Broilers Fed Natural Pigment Sources. *Nigerian Journal of Animal Production*, 872–875. <https://doi.org/10.51791/NJAP.VI.5901>
- Paredes, M., & Vásquez, B. (2020). Crecimiento, características de carcasa, peso de órganos internos y composición proximal de carne de seis genotipos de pollos criados en la región Andina del norte peruano. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 365–374. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.08>
- Pérez-Vendrell, A. M., Hernández, J. M., Llauradó, L., Schierle, J., & Brufau, J. (2001). Influence of Source and Ratio of Xanthophyll Pigments on Broiler Chicken Pigmentation and Performance. *Poultry Science*, 80(3), 320–326. <https://doi.org/10.1093/PS/80.3.320>
- Ríos Bermeo, S. N. (2018). *Evaluación del pigmentante natural Bixa orellana L. (Achiote) en la dieta de pollos de engorde en el cantón Morona*. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4584774>

- Rojas Perea, J. (2016). Efecto de la harina de achote (*Bixa Orellana* L.) en la pigmentación de pollos de carne COBB- 500. *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza UNTRM*. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/415>
- Saleh, A. A., Gawish, E., Mahmoud, S. F., Amber, K., Awad, W., Alzawqari, M. H., Shukry, M., & Abdel-Moneim, A. M. E. (2021). Effect of natural and chemical colorant supplementation on performance, egg-quality characteristics, yolk fatty-acid profile, and blood constituents in laying hens. *Sustainability (Switzerland)*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/su13084503>
- Valencia, D., Aguilar-González, D. I., Ortega-García, J., Godoy-Hernández, G., Leyva-Peralta, M. A., Moo-Huchín, V. M., Aarland, R. C., Quintero-Vargas, J., Mendoza-Espinoza, J. A., & Zarza-García, A. L. (2023). Phytochemical Profile, Antioxidant and Antiproliferative Activity from Leaves and Seeds of *Bixa orellana* L. from the Yucatán Peninsula, Mexico. *Pharmacognosy Magazine*, 19(2), 482–490. <https://doi.org/10.1177/09731296231158492>

ANEXOS

Anexo 1: Análisis de Varianza (ANOVA) para los parámetros de pigmentación

Parámetro	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
L (Luminosidad)	Modelo	0.154	3	0.051	0.213	0.887
	Error	1.920	8	0.240		
	Total	2.074	11			
a (Rojo)	Modelo	0.028	3	0.009	0.493	0.636
	Error	0.141	8	0.018		
	Total	0.169	11			
b (Amarillo)	Modelo	0.534	3	0.178	0.374	0.778
	Error	3.819	8	0.477		
	Total	4.353	11			

Test: Tukey Alfa = 0.05

Error: 0.240 gl: 8

TRATAMIENTOS Medias (L) n E.E.

Tratamiento	Media	n	E.E.	Grupo
Control	61.39	3	1.02	a
T1 (0.25%)	61.37	5	1.03	a
T2 (0.50%)	61.08	5	0.80	a
T3 (0.75%)	61.19	5	0.69	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 2: Análisis de Varianza (ANOVA) para el consumo de alimento semanal

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	872.10	3	290.70	0.39	0.803
TRATAMIENTOS	872.10	3	290.70	0.39	0.803
Error	5980.20	8	747.53		
Total	6852.30	11			

Test: Tukey Alfa = 0.05

Error: 747.53 gl: 8

Tratamiento	Media (g/ave)	n	E.E.	Grupo
Control	128.00	3	7.10	a
T1 (0.25%)	133.00	5	6.90	a
T2 (0.50%)	135.00	5	7.40	a
T3 (0.75%)	131.00	5	6.80	a

Anexo 3: Análisis de Varianza (ANOVA) para la conversión alimenticia

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.002	3	0.001	0.49	0.617
TRATAMIENTOS	0.002	3	0.001	0.49	0.617
Error	0.016	8	0.002		
Total	0.018	11			

Test: Tukey Alfa = 0.05

Error: 0.002 gl: 8

Tratamiento	Media	n	E.E.	Grupo
Control	1.43	3	0.09	a
T1 (0.25%)	1.39	5	0.08	a
T2 (0.50%)	1.38	5	0.07	a
T3 (0.75%)	1.41	5	0.10	a

Anexo 4: Análisis de Varianza (ANOVA) para el rendimiento de carcasa

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.81	3	2.27	0.85	0.502
TRATAMIENTOS	6.81	3	2.27	0.85	0.502
Error	21.41	8	2.68		
Total	28.22	11			

Test: Tukey Alfa = 0.05

Error: 2.68 gl: 8

Tratamiento	Media (%)	n	E.E.	Grupo
Control	81.44	3	0.30	a
T1 (0.25%)	79.67	5	1.22	a
T2 (0.50%)	80.25	5	2.28	a
T3 (0.75%)	79.85	4	2.22	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 5: Acondicionamiento de las instalaciones



Anexo 6: Pollos en etapa de inicio



Anexo 8: Alimento balanceado con adición de aminoácidos



Anexo 7: Preparación de alimento balanceado



Anexo 9: Control de peso



Anexo 10: Evaluación por tratamientos

