
PIGMENTOS NATURALES

EN LA PRODUCCIÓN AVÍCOLA




erevna
CIENCIA EDICIONES

Janeth Jácome Gómez
Marco De la Cruz Chicaiza
Ximena Valencia Enríquez
Jeniffer Espinoza Zambrano
Valter Mero Rosado

VOLUMEN 1

PIGMENTOS NATURALES

EN LA PRODUCCIÓN AVÍCOLA

PIGMENTOS NATURALES

EN LA PRODUCCIÓN AVÍCOLA

Volumen 1

Janeth Jácome Gómez

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Marco De la Cruz Chicaiza

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Ximena Valencia Enríquez

Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila

Jeniffer Espinoza Zambrano

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Valter Mero Rosado

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí



ECUADOR

PIGMENTOS NATURALES EN LA PRODUCCIÓN AVÍCOLA

Janeth Jácome Gómez, Marco De la Cruz Chicaiza, Ximena Valencia Enríquez,
Jeniffer Paulina Espinoza y Valter Mero Rosado.

Publicación arbitrada por pares académicos

Primera edición- Septiembre 2024

e-ISBN: 978-9942-7297-0-5

DOI: <https://doi.org/10.70171/487rr081>

Edición y Coordinación Editorial:

Erevna Ciencia Ediciones

Diseño y Composición:

Erevna Ciencia Ediciones

© (2024) Janeth Jácome Gómez, Marco De la Cruz Chicaiza,

Ximena Valencia Enríquez, Jeniffer Paulina Espinoza, Valter Mero Rosado

© (2024) Erevna Ciencia Ediciones

Av. Río Toachi y Calle los Bambúes, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

Teléfono: +593-968-173-352. E-mail: editorial@e-revna.com. Web: <https://e-revna.com>

Este libro está disponible en acceso abierto y se publica bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International. Puede ser compartido en su forma original, siempre y cuando se otorgue crédito al autor, únicamente con propósitos no comerciales y sin realizar modificaciones ni crear obras derivadas. Las opiniones expresadas en este documento son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente la postura de las instituciones que patrocinan o auspician esta publicación, ni de la editorial.



El editor no hace ninguna representación, expresa o implícita, con respecto a la exactitud de la información contenida en este libro y no puede aceptar ninguna responsabilidad legal o de otro tipo por cualquier error u omisión que pueda haber.

Datos para catalogación bibliográfica

Jácome-Gómez, J., De la Cruz Chicaiza, M., Valencia-Enríquez, X. Espinoza-Zambrano, J. & Mero-Rosado, V. (2024). *PIGMENTOS NATURALES EN LA PRODUCCIÓN AVÍCOLA*. Editorial Erevna Ciencia Ediciones, Ecuador. <https://doi.org/10.70171/487rr081>

Contenido

01

Fundamentos de la Pigmentación en Pollos

Generalidades	13
Origen y Función de los Pigmentos	13
Carotenoides	14
Distribución de los Carotenoides en Plantas	16
Concentración de los Carotenoides en Plantas	16
Pigmentación en Pollos	17
Depósito de Pigmentos en la Piel de los Pollos	17
Factores que Afectan la Pigmentación en Pollos	18
Carotenoides en la Producción Avícola	19
Efecto de los Carotenoides en el Sistema Digestivo de Pollos	19
Efectos en el Rendimiento de Crecimiento	20
Reducción de la Mortalidad	21
Efecto en la Calidad de los Productos Avícolas	21
Importancia Comercial del Color de la Piel del Pollo	22
Preferencias del Consumidor	22
Percepción de Calidad	22
Valor de Mercado y Precios	22
Estrategias de Comercialización	22
Impacto en la Producción y Alimentación	23
Desarrollo e Innovación	23
Normativas y Estándares	23
Selección de Carotenoides para Piensos	24
Capacidad de Pigmentación	24
Calidad del Pigmento	24
Solubilidad y Biodisponibilidad	24
Concentración	25
Interacciones con la Dieta	25
Impacto en la Salud de las Aves	25
Impacto en la Digestión y el Metabolismo	25
Formulación de Dietas	25
Estabilidad durante el Almacenamiento y Procesamiento	26
Seguridad Alimentaria y Sostenibilidad	26
Beneficios para los Consumidores	26
Costo - Eficiencia	26
Métodos de Obtención de Carotenoides	27
Hidrodestilación	27

Extracción a Baja Presión (LPSE)	27
Extracción con Dióxido de Carbono Supercrítico (SC-CO2)	27
Extracción con Solventes	27
Extracción Enzimática	28
Extracción con Ultrasonido	28
Secado y Molienda	28
Métodos de Evaluación de la Pigmentación	29
Espectrofotometría	29
Microscopía de Fluorescencia	29
Espectroscopía	30
Análisis de Colorimetría	30
Pruebas de Solubilidad y Extracción	31
Evaluación Visual	31

02 Fuentes Naturales de Carotenoides

Zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.)	35
Biología, Morfología y Anatomía	35
Propiedades Nutricionales	36
Contenido de Carotenoides	38
Potencial de la Zanahoria en la Avicultura	39
Evidencia Científica	39
Calabaza (<i>Cucurbita</i> spp.)	41
Biología, Morfología y Anatomía	41
Propiedades Nutricionales	43
Contenido de Carotenoides	45
Potencial de la Calabaza en la Avicultura	45
Evidencia Científica	46
Remolacha (<i>Beta vulgaris</i>)	48
Biología, Morfología y Anatomía	48
Propiedades Nutricionales	50
Contenido de Carotenoides	51
Potencial de la Remolacha en la Avicultura	52
Evidencia Científica	52

03 Evaluación Comparativa de Pigmentos Naturales

Estudio práctico	56
Manejo	56
Elaboración de Harinas Vegetales	56
Análisis Nutricional de Harinas Vegetales	57
Metodología de Evaluación	57

Resultados	59
Pigmentación con Harina de Zanahoria	60
Pigmentación con Harina de Calabaza	60
Pigmentación con Harina de Remolacha	61
Parámetros Productivos	62
Rentabilidad	63
Discusión	64
Conclusión	65

04 **Guía práctica para la Pigmentación de la Piel en Pollos**

Recomendaciones para la Práctica	69
Dosificación Óptima	69
Estrategia de Suplementación	69
Preparación y Aplicación de la Mezcla	69
Implementación y Seguimiento	70
Precauciones	70
Obtención y procesamiento de pigmentos	70
Adquisición de la Materia Prima	71
Selección	71
Pesado	71
Lavado	71
Cortado	71
Secado	71
Molienda	72
Tamizado	72
Almacenado	72
Referencias bibliográficas	73

Prefacio

Es grato presentar el libro sobre los pigmentos naturales en la producción avícola, resultado del esfuerzo colaborativo de varios expertos en el campo. Este trabajo no solo es un testimonio de nuestro compromiso con el desarrollo de la avicultura y la investigación científica, sino también de nuestra convicción de que el conocimiento compartido puede transformar positivamente la industria.

Durante nuestros años de investigación, hemos observado cómo el uso de pigmentos naturales puede mejorar la coloración y la salud de las aves. Nuestro interés en promover alternativas naturales y prácticas sostenibles nos motivó a investigar y profundizar en el tema. Uno de los mayores desafíos fue encontrar una fuente constante y de alta calidad que fuera económicamente viable para los productores y segura para las aves. Superar este obstáculo permitió desarrollar métodos y recomendaciones que esperamos sean útiles para quienes los lean.

Expresamos nuestro agradecimiento a los estudiantes que colaboraron en los estudios de campo, sin su cooperación este libro no habría sido posible. Agradecemos especialmente a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí y al Instituto Tecnológico Superior Tsáchila por proporcionar los recursos y el ambiente de investigación necesarios.

Janeth Jácome Gómez, PhD.

Introducción

En la actualidad, uno de los objetivos en la producción avícola es mejorar la calidad de la carne de pollo a través de estrategias nutricionales. En este contexto, la pigmentación de la piel y la carne del pollo emerge como uno de los atributos más críticos, dado que representa la primera impresión sensorial relacionada con calidad nutricional y los posibles beneficios para la salud percibidos por los consumidores.

Aunque la pigmentación no siempre es un indicador confiable de seguridad y calidad desde un punto de vista técnico, la percepción del consumidor sobre este atributo influye significativamente en la aceptabilidad del producto y en su decisión de compra, convirtiéndolo en un factor económico importante para los productores.

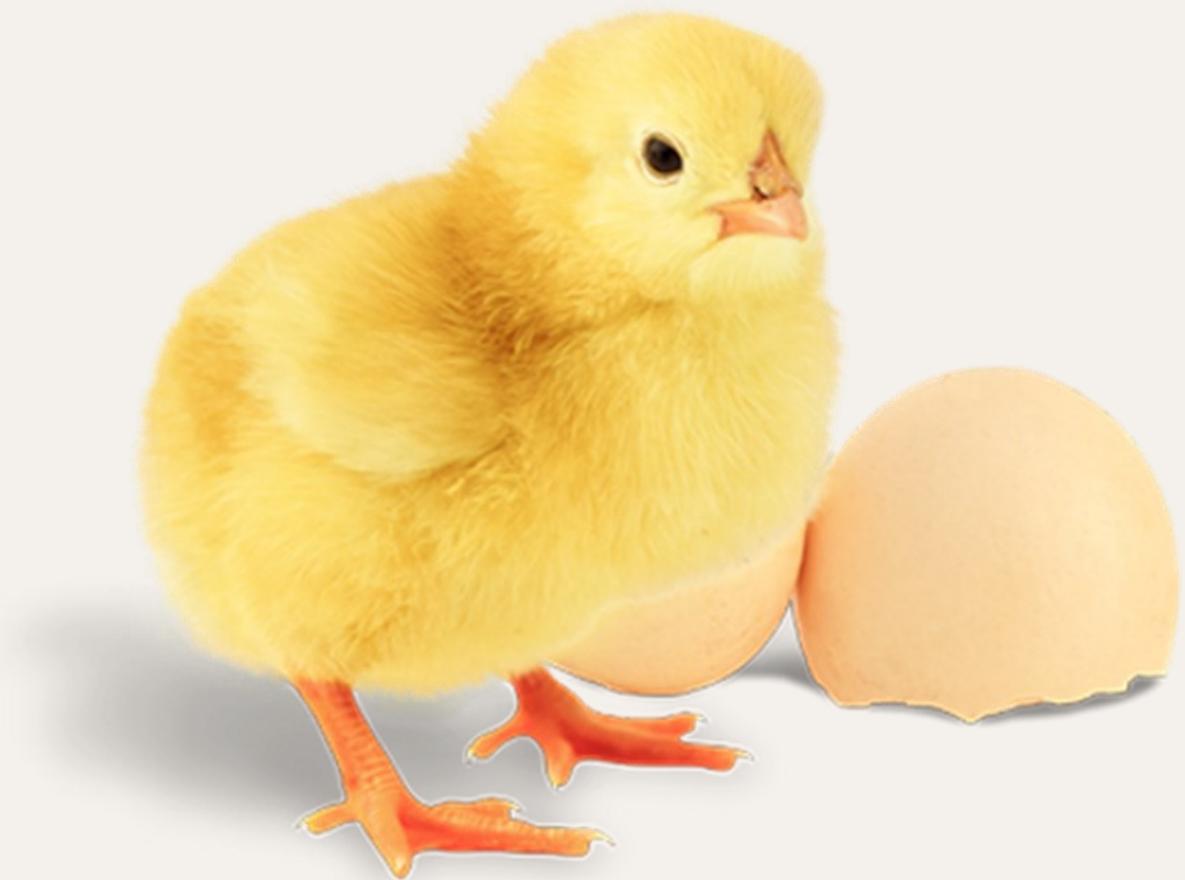
En Ecuador, existen preferencias por un color de piel amarillo vibrante y uniforme como indicador de frescura, seguridad y valor nutritivo. Esta preferencia ha impulsado a la industria de piensos a buscar métodos eficaces para lograr el color deseado, siendo los pigmentos una solución clave. Tradicionalmente, se utilizan pigmentos sintéticos debido a su eficacia y bajo costo. Sin embargo, su uso ha sido cuestionado debido a sus efectos adversos sobre la salud y el medio ambiente.

En contraste, los pigmentos naturales, derivados de fuentes como el maíz amarillo, la alfalfa y la flor de caléndula, ofrecen una alternativa más segura y ecológica. Aunque, pueden ser más costosos y menos estables, su uso ofrece múltiples beneficios. En términos de salud, estos pigmentos no presentan riesgos tóxicos y son fácilmente metabolizados por los pollos, lo cual es importante para mantener la salud del consumidor final. Desde una perspectiva de sostenibilidad, los pigmentos naturales son biodegradables y su producción generalmente tiene un menor impacto ambiental.

Con la creciente conciencia y preocupación de los consumidores por la composición de los alimentos que consumen, el respeto por el medio ambiente y el bienestar animal, la preferencia por productos naturales se ha incrementado. Este cambio de tendencia responde a una demanda por alimentos más saludables y respetuosos con el entorno.

Por ello, este libro tiene un doble objetivo, en primer lugar, proporcionar una comprensión de tres pigmentos naturales que pueden ser utilizados en la producción avícola, detallando sus características, propiedades y beneficios tanto en términos de coloración como de salud de las aves. En segundo lugar, busca ofrecer una guía práctica para su implementación en la producción de pollos de piel amarilla, basada en estudios y experiencias exitosas.

Fundamentos de la Pigmentación en Pollos



El color es una de las características más fascinantes de la naturaleza, influye en nuestra percepción del mundo y en los procesos biológicos esenciales. Desde los brillantes matices de las flores hasta los cautivadores patrones de los animales, el color no solo embellece el entorno, sino que también desempeña roles importantes en la supervivencia, la comunicación y la adaptación de las especies.

La naturaleza ha desarrollado una increíble diversidad de colores a través de una variedad de mecanismos, incluyendo la absorción y reflexión de luz por pigmentos, la dispersión de luz y la estructura de los tejidos biológicos. Estos colores no son meros adornos; tienen significados y funciones que van más allá de la estética, afectando tanto la vida cotidiana de las especies como las interacciones en sus ecosistemas.

Generalidades

La pigmentación en pollos es un aspecto fundamental en la producción avícola, especialmente en la producción de pollos de engorde de piel amarilla, apreciados en muchos mercados. A continuación, se presentan los conceptos básicos y los factores involucrados en este proceso.

Origen y Función de los Pigmentos

Los pigmentos naturales son grupos de compuestos químicos que proporcionan color a los tejidos vivos, ya sean animales, vegetales o microorganismos. Pueden clasificarse en varias categorías, dependiendo de su estructura química y origen, entre las que destacan los carotenoides, las clorofilas, las antocianinas y los flavonoides. Estos pigmentos se encuentran ampliamente en la naturaleza y desempeñan roles esenciales en diversos procesos biológicos, químicos y fisiológicos de la vida, siendo indispensables no solo para la apariencia visual de los organismos, sino también para su funcionamiento y supervivencia.

En el reino vegetal, pigmentos como la clorofila, los carotenoides y los antocianinas intervienen en la fotosíntesis, el proceso mediante el cual las plantas convierten la energía solar en energía química, lo que les permite crecer y desarrollarse. Los carotenoides, como el β -caroteno, que contribuyen al color de las frutas y vegetales, protegen a las plantas de la radiación ultravioleta dañina y tienen propiedades antioxidantes que ayudan a neutralizar los radicales libres y reducir el daño celular. Por su parte, las antocianinas, responsables de los colores rojos, morados y azules en las flores y frutos, también tienen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias que benefician la salud de la planta (Cortez *et al.*, 2017; Sousa, 2022).

En el reino animal, pigmentos como los carotenoides y los melaninas no solo aportan color a la piel, plumas o pelaje, sino que también cumplen funciones vitales en la protección contra la radiación UV y en la comunicación visual. En ciertas especies animales, una dieta rica en carotenoides puede influir en la selección de pareja (Singh & Brar, 2019). Un ejemplo notable es el flamenco, cuyo característico plumaje rosa se debe a los carotenoides presentes en su dieta, compuesta de algas y crustáceos. Un plumaje más vibrante es un indicador de mejor salud y calidad genética, lo que mejora las oportunidades de éxito en el cortejo y la reproducción.

En microorganismos como bacterias y algas, los pigmentos tienen funciones importantes. En algunos casos, actúan como protectores contra la radiación UV y otros factores de estrés ambiental. En otros, son necesarios para procesos como la fotosíntesis, la producción de energía en condiciones extremas y la regulación de ciertas respuestas metabólicas específicas (Wang *et al.*, 2017).

Además de sus funciones biológicas, muchos pigmentos son nutrientes esenciales, y algunos actúan como provitaminas para humanos y animales. Por ejemplo, el β -caroteno que se convierte en una provitamina A, esencial para la visión, la salud de la piel y el sistema inmunológico (Anand *et al.*, 2022). Otros pigmentos, como la luteína y la zeaxantina, tienen beneficios particulares para mejorar la función ocular y cerebral (Demmig-Adams *et al.*, 2020).

Más allá de sus funciones biológicas y nutricionales, algunos pigmentos ofrecen beneficios nutraceuticos adicionales. Estos compuestos pueden ayudar en la prevención y el tratamiento de diversas enfermedades gracias a sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antitumorales y antimicrobianas (Lu *et al.*, 2021). Particularmente, los carotenoides y flavonoides, presentes en frutas y vegetales, son reconocidos por sus potentes efectos antioxidantes que ayudan a proteger contra enfermedades crónicas, como el cáncer y enfermedades cardiovasculares (Rivera-Madrid *et al.*, 2020). Además, ciertos pigmentos tienen propiedades antimicrobianas que contribuyen a combatir infecciones y patógenos (Celedón & Díaz, 2021).

En el contexto de la producción avícola, los carotenoides son de particular interés debido a su capacidad para pigmentar la piel, la yema del huevo y la grasa subcutánea de los pollos.

Carotenoides

Los carotenoides son pigmentos liposolubles sintetizados a partir de organismos fotosintéticos como las plantas, algas y ciertas bacterias, también por algunos hongos no fotosintéticos e invertebrados. Los humanos y los animales no pueden sintetizarlos de forma natural. Sin embargo, están presentes en el tejido humano y animal porque se absorben y se depositan en el cuerpo a través de la ingesta de alimentos.

Los carotenoides, son responsables de colores que varían desde el amarillo hasta el rojo intenso de las flores y frutas, también proporcionan colores llamativos a los animales. Su estructura química, basada en una cadena de carbonos con enlaces dobles conjugados, les permite absorber y reflejar luz en diferentes longitudes de onda, entre 400 y 600 nm, creando así su color característico (**Figura 1.1**).

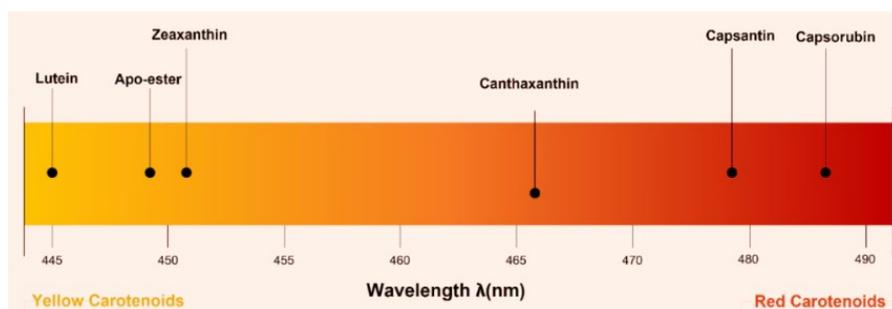


Figura 1.1. Longitudes de Onda de los Carotenoides

Nota: Cisneros F. (2021). Wavelengths of various carotenoids used for yolk pigmentation.

En la naturaleza existen más de 700 carotenoides, aunque solo algunos de ellos se han estudiado extensamente. Entre los más comunes y relevantes se encuentran las xantofilas y los carotenos. Las xantofilas son pigmentos amarillos (**Figura 1.2**) que contienen grupos oxigenados, lo que les confiere propiedades químicas y biológicas distintivas. Esta adición de oxígeno modifica la estructura de los carotenoides, afectando su solubilidad y su capacidad para interactuar con otras moléculas (Thomas & Johnson, 2018).

Entre las xantofilas más destacadas por su funcionalidad, diversidad y biodisponibilidad se encuentran la luteína y la zeaxantina. La luteína proporciona un color amarillo limón, mientras que la zeaxantina proporciona un tono amarillo dorado más intenso. Ambas xantofilas son abundantes en una variedad de vegetales de hojas verdes, como la espinaca, la alfalfa, la col rizada, los nabos y el brócoli. También se encuentran en flores como la caléndula y en hortalizas y frutas como el maíz, los guisantes, el perejil, la lechuga, la caléndula, el calabacín, las zanahorias. En menor cantidad pueden hallarse en tomates y pimientos (Aziz *et al.*, 2020).

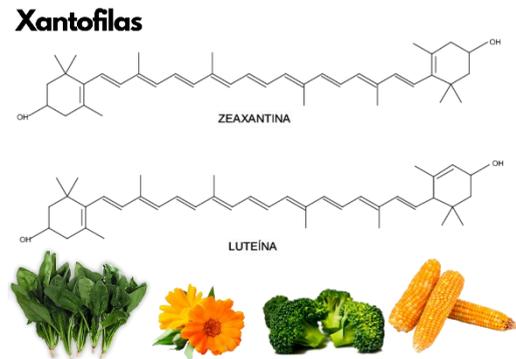


Figura 1.2. Fuentes de Xantofilas

Los carotenos a diferencia de las xantofilas son hidrocarburos, lo que significa que están compuestos únicamente de carbono e hidrógeno, sin átomos de oxígeno en su estructura. Esta característica química les confiere una estructura basada en una cadena lineal de átomos de carbono con enlaces dobles conjugados, permitiendo que absorban luz visible y reflejen tonalidades naranja y rojo en muchas frutas, vegetales y flores (**Figura 1.3**) (Sun *et al.*, 2022).

Los carotenos más conocidos son: β -caroteno, el α -caroteno y el licopeno. El β -caroteno es uno de los más estudiados debido a su capacidad para ser convertido en vitamina A, se encuentra en frutas como el mango y en verduras como las zanahorias. El α -caroteno también puede convertirse en vitamina A, aunque con menor eficacia, y se encuentra en vegetales de color naranja y verde. El licopeno es el pigmento rojo en los tomates, los pimientos rojos, la sandía, el pomelo rosado, entre otros (Deis *et al.*, 2021).

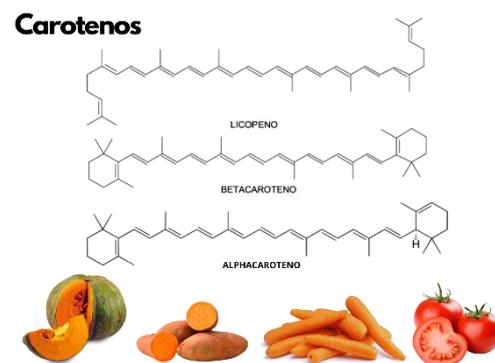


Figura 1.3. Fuentes de Carotenos

Distribución de los Carotenoides en Plantas

Los carotenoides se distribuyen en diferentes partes de la planta, y esta distribución no es uniforme. En las hojas, están predominantemente ubicados en los cloroplastos. Entre los carotenoides presentes en esta parte de la planta se encuentran la luteína y la zeaxantina. Por otro lado, en las frutas, los carotenoides suelen encontrarse en altas concentraciones y son responsables de sus colores vivos; por ejemplo, el β -caroteno es abundante en las zanahorias, mientras que el licopeno da su color característico a los tomates.

Las flores, dependiendo de la especie, también pueden contener carotenoides en concentraciones significativas, contribuyendo a colores brillantes que atraen a los polinizadores. Entre los carotenoides presentes en las flores se incluyen la luteína y la criptoxantina. En raíces y tubérculos, como las zanahorias y las batatas, los carotenoides se acumulan principalmente en la parte comestible y suelen estar concentrados en las capas externas del tubérculo. Aunque algunas semillas también contienen carotenoides, estos están presentes en concentraciones más bajas en comparación con las partes más visibles de la planta y la distribución puede ser influenciada por el tipo de semilla, el proceso de desarrollo y el ambiente en el que se desarrolla la planta.

Concentración de los Carotenoides en Plantas

La cantidad y calidad de carotenoides en las plantas están sujetas a una compleja interacción de factores genéticos, ambientales, de maduración y de manejo postcosecha. Comprender cómo estos factores afectan la concentración y la forma de los carotenoides es fundamental para optimizar su uso en la nutrición humana y en la formulación de piensos para animales.

El genotipo de la planta determina su capacidad inherente para producir y acumular carotenoides, mientras que las condiciones ambientales durante el cultivo, como la intensidad de la luz, la temperatura y la disponibilidad de nutrientes, influyen en la biosíntesis de estos compuestos (Rodríguez-Mena *et al.*, 2023).

El tiempo de maduración es otro factor crítico, ya que la concentración y el perfil de carotenoides pueden cambiar significativamente a medida que la planta madura. Durante la maduración, algunos carotenoides pueden degradarse, mientras que otros se acumulan, afectando así el perfil final del pigmento en el fruto o la hoja. Asimismo, el manejo postcosecha, incluyendo el procesamiento y almacenamiento, puede afectar la concentración y estabilidad de los carotenoides. Además, la concentración de carotenoides puede variar entre diferentes partes de la misma planta. A menudo, la cáscara de las frutas presenta una mayor concentración de carotenoides en comparación con la pulpa (Sun *et al.*, 2022).

Pigmentación en Pollos

Los pollos, al igual que todos los animales, no tienen la capacidad de sintetizar carotenoides de *novo*, por lo que dependen exclusivamente de su dieta para obtener estos compuestos. Tras su ingesta, los carotenoides se liberan de los alimentos en el tracto digestivo, donde la presencia de grasas es crucial para una adecuada absorción. En el intestino delgado, los carotenoides se incorporan a micelas, estructuras formadas por ácidos biliares y lípidos, que facilitan su absorción por las células intestinales, llamadas enterocitos. Dentro de los enterocitos, que son células intestinales encargadas de la absorción de nutrientes, los carotenoides se integran a lipoproteínas, principalmente en quilomicrones. Estas lipoproteínas transportan grasas y otros lípidos a través del sistema linfático y hacia la circulación sanguínea. Una vez en la circulación, los quilomicrones distribuyen los carotenoides a diversos tejidos del cuerpo del pollo, acumulándose principalmente en los tejidos adiposos, que almacenan y utilizan los carotenoides según las necesidades fisiológicas del ave (Wu *et al.*, 2021).

Depósito de Pigmentos en la Piel de los Pollos

En los tejidos específicos como la piel, los carotenoides se depositan en las células de grasa subcutánea, responsables de sintetizar y distribuir los pigmentos las capas externas de la epidermis, contribuyendo al color superficial de la piel (**Figura 1.4**).

La interacción entre los carotenoides y la melanina, un tipo de pigmento biológico producido por células especializadas llamadas melanocitos en la epidermis, es fundamental para el color final de la piel. La melanina se transfiere a los queratinocitos y combina su efecto con el de los carotenoides para determinar el tono y la intensidad del color (Andersson *et al.*, 2020).

La acumulación y depósito de los pigmentos en la piel del pollo es un proceso gradual y depende de la cantidad y tipo de carotenoides presentes en la dieta, así como del metabolismo del ave y del tiempo disponible para que los pigmentos se integren en los tejidos. Para lograr una pigmentación aceptable, se recomienda suplementar la dieta de las aves con pigmentos durante las últimas cuatro semanas del ciclo de producción.

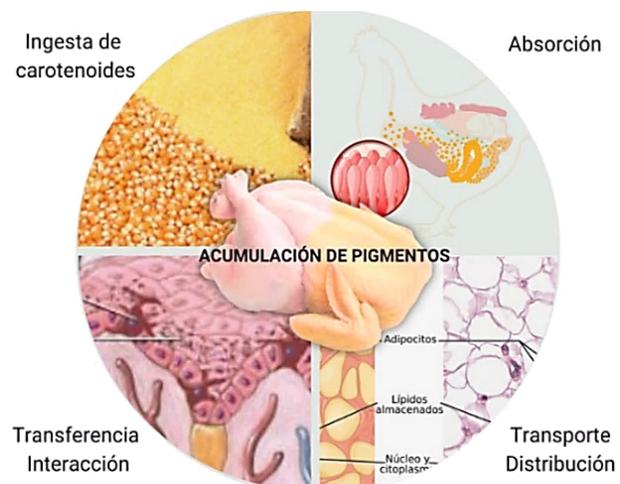


Figura 1.4. Representación esquemática del depósito de Pigmentos en la Piel de los Pollos

Factores que Afectan la Pigmentación en Pollos

Las líneas modernas de pollos de engorde tienen una capacidad inherente para depositar pigmentos en su piel, pero esta capacidad puede variar debido a varios factores. A continuación, se detallan algunos de los más relevantes:

Genética. Los genes influyen en la síntesis y distribución de pigmentos en la piel, plumas o huevos. Diferentes razas y líneas de pollos tienen diferentes perfiles genéticos que afectan su pigmentación.

Sexo. El sexo del pollo puede influir en la pigmentación, aunque este efecto no siempre es significativo. En algunas razas y líneas genéticas, pueden observarse diferencias en la intensidad del color entre machos y hembras.

Salud y Estado Fisiológico. Enfermedades y parásitos pueden influir en la capacidad de las aves para absorber y depositar pigmentos. Un pollo saludable, con un sistema digestivo y metabólico eficiente, es capaz de maximizar la absorción y utilización de los nutrientes necesarios para una coloración óptima de la piel.

Fuente Dietética. Los pigmentos naturales, como los carotenoides presentes en ciertos alimentos, son absorbidos por el pollo y depositados en la piel, contribuyendo al color deseado. La cantidad y el tipo de pigmentos varía según la fuente, lo que puede influir en la intensidad y uniformidad del color de la piel.

Dieta. Una dieta equilibrada que incluya suficientes fuentes de pigmentos es esencial para lograr una pigmentación deseada. La formulación de la dieta debe ser cuidadosamente controlada para asegurar niveles adecuados de pigmentos.

Edad. A medida que el ave crece, la capacidad para acumular pigmentos puede variar. Los pollos jóvenes pueden mostrar una pigmentación menos desarrollada, mientras que la pigmentación puede intensificarse con la edad si las condiciones nutricionales y ambientales son óptimas.

Estrés. Situaciones estresantes pueden alterar el metabolismo y la absorción de pigmentos, lo que puede llevar a una pigmentación menos uniforme o intensa.

Nutrientes. Las interacciones entre diferentes nutrientes pueden afectar la absorción y la eficacia de los pigmentos dietéticos. Por ejemplo, la presencia de ciertos minerales o vitaminas puede interferir con la capacidad del ave para metabolizar y depositar pigmentos.

Manejo. Los métodos y la forma en que se distribuyen los alimentos y la frecuencia de las comidas pueden influir en la absorción de pigmentos. El manejo adecuado de la salud del ave no se limita solo a la alimentación, también incluye prácticas de bienestar animal, control ambiental y sanitarias que garantizan condiciones óptimas de crianza.

Carotenoides en la Producción Avícola

En la producción avícola, las aves enfrentan múltiples desafíos que pueden afectar su salud y rendimiento, incluyendo enfermedades infecciosas causadas por bacterias y virus, estrés térmico debido a altas temperaturas, y condiciones ambientales adversas. Estos factores patológicos representan serios riesgos para el bienestar de las aves. En este contexto, los carotenoides desempeñan un papel biológico versátil que contribuye a efectos terapéuticos notables para abordar estos problemas.

Los carotenoides actúan principalmente como antioxidantes, neutralizando los radicales libres en el organismo de los pollos generados durante el metabolismo. Esta actividad antioxidante reduce el estrés oxidativo provocado por condiciones de alta densidad o calor extremo, protegiendo las células de daños que pueden llevar a enfermedades crónicas y degenerativas. Además, pueden influir en la producción de citoquinas y otras moléculas señalizadoras del sistema inmune, fortaleciendo la capacidad de los pollos para combatir enfermedades (Basiouni *et al.*, 2023).

Otra propiedad importante de los carotenoides es su capacidad antiinflamatoria, esencial para la prevención y manejo de enfermedades inflamatorias como la enteritis necrótica y otras afecciones gastrointestinales comunes en la avicultura (Csernus *et al.*, 2020).

Los carotenoides también actúan como inmunomoduladores, regulando y fortaleciendo el sistema inmunológico de las aves al estimular la producción de anticuerpos y mejorar las defensas naturales del organismo. Esto se traduce en una mayor resistencia a enfermedades y una mejor recuperación de infecciones (Belwal *et al.*, 2023). Además, los carotenoides ayudan a combatir infecciones bacterianas. Esta propiedad es valiosa en ambientes de alta densidad, donde las aves están más expuestas a patógenos. Al mejorar la salud intestinal y general, los carotenoides pueden reducir la necesidad de antibióticos y promover una producción avícola más sostenible (Riley *et al.*, 2023).

Efecto de los Carotenoides en el Sistema Digestivo de Pollos

Los carotenoides, no solo proporcionan efectos antioxidantes y antiinflamatorios que fortalecen el sistema inmunológico de las aves, sino que también contribuyen a una mejor salud gastrointestinal.

Protección de la Mucosa Gastrointestinal. Los carotenoides, especialmente el β -caroteno, tienen propiedades antioxidantes que ayudan a proteger la mucosa gastrointestinal de los pollos. La mucosa del tracto digestivo está expuesta a diversos estresores que pueden causar daño celular y aumentar el riesgo de

enfermedades gastrointestinales. Al neutralizar los radicales libres, los carotenoides ayudan a mantener la integridad de la mucosa, previniendo problemas como la enteritis y las úlceras gástricas (Tolnai *et al.*, 2021).

Mejora de la Digestión y Absorción de Nutrientes. Los carotenoides pueden influir en la eficiencia digestiva, al proteger la mucosa intestinal y reducir la inflamación, se facilita la absorción de nutrientes esenciales, mejorando la digestibilidad de los alimentos. Esto se traduce en una mayor disponibilidad de nutrientes para el crecimiento y el mantenimiento de la salud general de los pollos (Bittencourt & Menten, 2023).

Modulación de la Microbiota Intestinal. Los carotenoides pueden afectar la composición y la actividad de la microbiota intestinal. Una microbiota equilibrada es crucial para la digestión eficiente y la salud intestinal. Los carotenoides pueden promover un entorno favorable para el crecimiento de microorganismos beneficiosos y controlar el crecimiento de patógenos potenciales, contribuyendo así a una mejor salud digestiva y a una reducción de enfermedades intestinales (Csernus *et al.*, 2022).

Prevención de Problemas Digestivos. El β -caroteno y otros carotenoides tienen propiedades que pueden ayudar a prevenir problemas digestivos comunes en los pollos, como la diarrea y la constipación. Al mantener la mucosa intestinal sana, se reduce el riesgo de estas afecciones y se mejora la consistencia de las heces, lo que es crucial para el bienestar y la eficiencia productiva de los pollos (Bittencourt & Menten, 2023).

Efectos en el Rendimiento de Crecimiento

Los carotenoides también optimizan el rendimiento de crecimiento de los pollos, aunque la magnitud del efecto puede variar según varios factores. Estos nutrientes pueden influir en la eficiencia de conversión alimentaria, que mide la capacidad de los pollos para convertir los nutrientes en masa corporal (Jácome-Gómez *et al.*, 2024). Una mejor conversión implica que los pollos utilizan los nutrientes de manera más eficiente, lo que puede resultar en un aumento en la ganancia de peso y una reducción en la cantidad de alimento necesario para alcanzar el peso objetivo, un aspecto crucial para la rentabilidad en la producción avícola.

La influencia de los carotenoides en el crecimiento puede depender de la dosis y el tipo específico de carotenoide administrado. Algunos estudios han mostrado que la suplementación con β -caroteno puede tener efectos positivos en la ganancia de peso, mientras que otros carotenoides como la luteína y la zeaxantina pueden tener efectos más limitados o variados en el rendimiento general del animal (Nabi *et al.*, 2020).

En términos de reproducción y crecimiento de las aves. En pollos en crecimiento, los carotenoides contribuyen al desarrollo muscular y óseo, promoviendo una mayor tasa de crecimiento y eficiencia alimenticia (Khan *et al.*, 2023). En aves reproductoras, los carotenoides no solo mejoran la calidad del huevo, sino que también influyen positivamente en la salud reproductiva y la viabilidad de los embriones (Dansou *et al.*, 2023). Al incrementar la calidad del esperma y los óvulos, los carotenoides pueden elevar la tasa de fertilización y eclosión (Partyka & Nizański, 2021). Además, en aves reproductoras, su impacto se extiende a una mayor vida útil productiva al reducir la incidencia de enfermedades relacionadas con el envejecimiento (Yunitasari *et al.*, 2023).

Reducción de la Mortalidad

La mortalidad en la producción avícola es un factor crítico que impacta tanto el rendimiento como la eficiencia de las operaciones. En este contexto, la inclusión de carotenoides en la dieta de los pollos ha demostrado ser una estrategia eficaz para reducir la mortalidad, gracias a sus efectos antioxidantes, antiinflamatorios e inmunomoduladores (Jácome-Gómez *et al.*, 2024). La reducción de la mortalidad tiene beneficios directos para el rendimiento económico de las granjas avícolas, ya que una menor mortalidad maximiza la producción de carne o huevos por lote optimizando el uso de los recursos como alimentación, agua y cuidados. Esto a largo plazo, se traduce en producción más sostenible, al reducir el número de pérdidas por causas prevenibles.

Efecto en la Calidad de los Productos Avícolas

Los carotenoides influyen en la calidad de los productos avícolas, afectando tanto su valor nutricional como sus características estéticas, que influyen en la percepción del consumidor. En la carne de pollo, los carotenoides mejoran la pigmentación de la piel, haciéndola más intensa y visualmente atractiva. Para los huevos, estos nutrientes realzan el color de las yemas, proporcionando una tonalidad más vibrante y estéticamente agradable (Marounek *et al.*, 2018).

De acuerdo con lo expuesto, los carotenoides desempeñan un papel multifacético en la producción avícola. Su capacidad para actuar como antioxidantes, fortalecer el sistema inmunológico, apoyar la reproducción y el crecimiento, regular la inflamación y mejorar la calidad del producto destaca su importancia en la nutrición avícola. Por lo tanto, incorporar carotenoides en la dieta de los pollos puede ser una estrategia efectiva para promover su salud y bienestar general. Sin embargo, debe ser cuidadosamente ajustada para optimizar su impacto en el rendimiento de crecimiento, teniendo en cuenta las condiciones específicas de producción y las necesidades nutricionales de los pollos.

Importancia Comercial del Color de la Piel del Pollo

En el competitivo mercado de pollo fresco o congelado, la piel del pollo es el primer aspecto que capta la atención del consumidor. El color de la piel tiene una relevancia considerable en la industria avícola, ya que afecta la percepción del producto, su calidad y, en consecuencia, las ventas y las estrategias de comercialización. A continuación, se presentan las principales razones por las cuales el color de la piel es importante desde una perspectiva comercial:

Preferencias del Consumidor

El color de la piel del pollo es uno de los factores que más afecta la decisión de compra de los consumidores. En muchos mercados, especialmente en países de América Latina y Asia, el pollo con piel de color amarillo es altamente preferido debido a la percepción de mayor calidad y sabor. Este color amarillo suele ser asociado con una mejor alimentación del ave, a menudo enriquecida con carotenoides, lo cual también puede ser un factor de percepción de mayor valor nutricional (Wu *et al.*, 2021).

Percepción de Calidad

Un color uniforme y atractivo en la piel del pollo puede ser interpretado por los consumidores como un indicador de frescura y buena calidad. La pigmentación amarilla, en particular, suele asociarse con métodos de crianza en ambientes tradicionales. Por el contrario, una piel de color pálido o con manchas puede llevar a sospechas sobre la calidad del producto o incluso a la percepción de que el pollo está menos fresco o no ha sido alimentado adecuadamente (Katiyo *et al.*, 2020).

Valor de Mercado y Precios

El pollo con piel de color amarillo brillante a menudo se comercializa a precios más altos debido a su atractivo visual y la demanda de los consumidores. Esta preferencia puede incrementar el margen de ganancia para los productores y minoristas. La capacidad de producir pollo con un color de piel deseado y consistente puede ofrecer una ventaja competitiva en el mercado permitiendo a los productores capturar un segmento de mercado dispuesto a pagar más por este atributo visual (Barbut & Leishman, 2022).

Estrategias de Comercialización

La industria avícola puede utilizar el color de la piel como una herramienta de marketing para diferenciar sus productos (Barbut & Leishman, 2022). Los productores pueden destacar la calidad del alimento y el cuidado en la crianza de

las aves para justificar el color de la piel y atraer a los consumidores que valoran estos atributos. Además, el color puede ser una característica destacada en el empaquetado, contribuyendo a una imagen de marca positiva .

Impacto en la Producción y Alimentación

La dieta comercial estándar para aves de corral, basada en maíz y soja, no proporciona suficientes xantofilas para obtener la piel amarilla intensa que muchos consumidores prefieren (Nogareda *et al.*, 2016). Para lograr este color, puede ser necesario incorporar otros pigmentos naturales a dieta de las aves. Los productores deben integrar estos costos y estrategias en sus prácticas para satisfacer la demanda del mercado sin sacrificar la rentabilidad.

Desarrollo e Innovación

La producción de pollo con una pigmentación deseada, como el color amarillo de la piel, implica costos significativos debido al uso de aditivos carotenoides en los piensos, lo cual impacta directamente en los márgenes de ganancia de los productores avícolas. Para enfrentar este desafío, se están investigando alternativas provenientes de fuentes naturales que puedan incorporarse en la dieta de las aves de manera más económica y sostenible. Esto permitiría a los productores ofrecer productos de alta calidad a precios más accesibles, al mismo tiempo que cumplen con la creciente demanda de los consumidores por productos más naturales y sostenibles. Además, la investigación está desarrollando nuevos métodos para mejorar la biodisponibilidad de estos pigmentos, lo cual podría reducir la cantidad necesaria para obtener el color deseado.

Normativas y Estándares

Existen normativas y estándares que regulan el uso de carotenoides en la alimentación animal, con el fin de asegurar la calidad y la seguridad de los productos avícolas. Los productores deben adherirse a estas regulaciones para evitar sanciones y asegurar que sus productos sean seguros y de alta calidad para los consumidores.

Las normativas, pueden variar según el país. Por ejemplo, en la Unión Europea, el Reglamento (CE) n° 1831/2003 que establece las directrices para el uso de aditivos en la alimentación animal, autoriza el uso de ciertos carotenoides, como la luteína, la zeaxantina, la cantaxantina, la capsantina, la citranaxantina y el éster etílico del ácido β -apo-8'-carotenoico (apo-éster), en la alimentación de pollos (European Union Register of Feed Additives, 2023). En Ecuador, el uso de carotenoides en la alimentación animal está regulado por la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

Selección de Carotenoides para Piensos

La elección de la fuente de carotenoides para la pigmentación de pollos requiere una evaluación cuidadosa, teniendo en cuenta no solo el impacto en el color de la piel, sino también los efectos en la salud general de las aves. Es importante seleccionar fuentes de alta calidad, con buena biodisponibilidad y que sean seguras y compatibles con la dieta para asegurar tanto la salud óptima de las aves como la eficacia del pigmento. A continuación, se detallan algunas consideraciones para una selección adecuada.

Capacidad de Pigmentación

Existen numerosas variedades de carotenoides en la naturaleza, pero no todos poseen la misma capacidad para pigmentar la piel de las aves. La acumulación de xantofilas es, de hecho, el patrón distintivo de los carotenoides en los pollos (Marounek & Pebriansyah, 2018). Por ello, es esencial incluir fuentes dietéticas ricas en xantofilas, como la luteína y la zeaxantina, que confieren el característico color amarillo, para alcanzar el nivel de pigmentación deseado en el mercado. Aunque no existe un consenso claro sobre las dosis mínimas y máximas en las dietas de los pollos, la cantidad ideal varía según la fuente de carotenoide, el grado de pigmentación deseado y las preferencias culturales de los consumidores, lo que también puede diferir entre las distintas líneas de pollos.

Calidad del Pigmento

Las fuentes de carotenoides deben estar libres de contaminantes y proporcionar una calidad constante para evitar variaciones en la pigmentación y efectos adversos en la salud de los pollos. Un pigmento puro asegura que los carotenoides se encuentren en su forma activa y funcional. Además, un pigmento de alta calidad debe ser seguro para el consumo de las aves, sin riesgos de toxicidad.

Solubilidad y Biodisponibilidad

Un pigmento de alta calidad debe ser fácilmente soluble en el sistema digestivo de las aves para que los carotenoides sean absorbidos y utilizados de manera eficiente por el organismo. La solubilidad puede verse afectada por factores como el tipo de carotenoide, la matriz del pienso y las condiciones de procesamiento.

La biodisponibilidad de los carotenoides, o la medida en que estos pigmentos son absorbidos y utilizados por el organismo del pollo, es otro factor crítico. La presencia de grasas en la dieta mejora significativamente la absorción de carotenoides, dado que estos son solubles en grasa (Kikusato, 2021). Es importante formular la dieta de manera que maximice la absorción de estos pigmentos,

asegurando que los pollos obtengan la cantidad necesaria para una pigmentación adecuada. La forma en que los carotenoides se incorporan a la dieta ya sea a través de alimentos naturales o suplementos, también afecta su biodisponibilidad.

Concentración

Una característica común de todos los suplementos de carotenoides es la acumulación dependiente de la dosis, la literatura sugiere que cuanto más carotenoides hay en el alimento, mayor es la concentración (Dansou *et al.*, 2023). Sin embargo, la concentración de los carotenoides activos en el pigmento debe ser adecuada para lograr el color deseado en la piel del pollo sin necesidad de dosis excesivas. Un pigmento de alta calidad proporciona la concentración necesaria para obtener resultados consistentes y efectivos.

Interacciones con la Dieta

La integración de carotenoides en la dieta de los pollos debe considerarse en el contexto de la dieta completa. Los carotenoides deben ser compatibles con otros nutrientes y aditivos presentes en la dieta para evitar interacciones negativas que puedan afectar la salud de las aves. Por ejemplo, una alta ingesta de carotenoides puede interferir con la absorción de otras vitaminas liposolubles (Khan *et al.*, 2023).

Impacto en la Salud de las Aves

Algunas fuentes de carotenoides pueden tener efectos secundarios o ser tóxicas en concentraciones elevadas. Es vital asegurarse de que las fuentes seleccionadas sean seguras y no provoquen problemas de salud en las aves. Los aditivos en exceso o los compuestos contaminantes en algunas fuentes pueden causar problemas metabólicos, digestivos o de crecimiento (Khan *et al.*, 2023).

Impacto en la Digestión y el Metabolismo

Algunas fuentes pueden ser difíciles de digerir o metabolizar, lo que podría llevar a una absorción inadecuada de los carotenoides y afectar negativamente la salud digestiva de las aves. Es importante seleccionar fuentes que sean adecuadas para el sistema digestivo de las aves y que no interfieran con la función gastrointestinal.

Formulación de Dietas

En la formulación de dietas para pollos de engorde, es esencial considerar tanto la fuente como la concentración de carotenoides. Las fuentes naturales de carotenoides, como el maíz amarillo y los vegetales de hojas verdes, pueden ser incorporadas en la dieta para proporcionar un equilibrio adecuado. La selección de aditivos de carotenoides debe basarse en la eficiencia de absorción y el impacto

deseado en la pigmentación y la salud. El pigmento debe ser compatible con otros componentes de la dieta de las aves, mezclándose bien con otros ingredientes sin causar interacciones negativas que puedan afectar la salud de las aves o el rendimiento de la dieta.

Estabilidad durante el Almacenamiento y Procesamiento

Los carotenoides pueden degradarse durante el almacenamiento y procesamiento de los alimentos, afectando su eficacia. Factores como la exposición al calor, la luz y el oxígeno pueden reducir la concentración de carotenoides en los ingredientes alimentarios. Es esencial seleccionar fuentes de carotenoides estables y considerar métodos de procesamiento que minimicen la degradación. La encapsulación o el uso de antioxidantes son estrategias efectivas para preservar su integridad durante el almacenamiento y el procesamiento (Meléndez-Martínez *et al.*, 2023).

Seguridad Alimentaria y Sostenibilidad

Además, asegurar que la fuente de pigmento aporte nutrientes adicionales, como β -caroteno, que actúa como precursor de la vitamina A, puede mejorar el perfil nutricional del producto final. Es igualmente importante verificar que la fuente elegida cumpla con los estándares de seguridad alimentaria y sostenibilidad, garantizando que el producto no contenga contaminantes y sea seguro para el consumo, lo que fortalece la confianza del consumidor en la calidad y seguridad del alimento .

Beneficios para los Consumidores

Al seleccionar la fuente de pigmento para la dieta de los pollos, es necesario considerar cómo influye en los beneficios para los consumidores. Optar por carotenoides naturales que no introduzcan compuestos tóxicos o nocivos en la cadena alimentaria y que puedan ofrecer beneficios adicionales, como propiedades antioxidantes o nutritivas. Esto se asegura mediante un control riguroso de calidad y el cumplimiento de normativas de seguridad alimentaria, garantizando que el pigmento contribuya a la calidad del alimento sin comprometer la salud del consumidor.

Costo - Eficiencia

El costo de los carotenoides debe ser evaluado en relación con sus beneficios y eficacia general en la mejora de la calidad del producto. Es fundamental equilibrar la calidad y la biodisponibilidad de los carotenoides con su costo para garantizar que la inversión en pigmentación sea económicamente rentable y sostenible para la operación avícola a largo plazo.

Métodos de Obtención de Carotenoides

La obtención de carotenoides a partir de productos vegetales puede realizarse mediante varios métodos, cada uno con sus propias ventajas y limitaciones. A continuación, se presentan algunos de los métodos descritos por Fatima *et al.* (2023), Meléndez-Martínez *et al.* (2022) y Molina *et al.*, (2023):

Hidrodestilación

La hidrodestilación es una técnica utilizada para extraer compuestos volátiles, como los carotenoides, de materiales vegetales mediante la aplicación de vapor de agua. El proceso implica calentar agua para generar vapor que atraviesa la materia vegetal, arrastrando los compuestos volátiles, los cuales luego se condensan en un líquido separado. Este líquido se separa, y los carotenoides se pueden purificar mediante técnicas adicionales. La eficiencia de extracción puede variar según el tipo de materia vegetal y las condiciones del proceso, como temperatura y tiempo. Las ventajas incluyen la simplicidad del equipo y la ausencia de solventes tóxicos, pero las limitaciones incluyen una posible pérdida de compuestos sensibles al calor.

Extracción a baja presión (LPSE)

La LPSE es una técnica que utiliza presiones reducidas para extraer carotenoides de materiales vegetales. En este método, se aplica una presión menor al ambiente, lo que facilita la extracción de componentes volátiles y no volátiles sin requerir temperaturas elevadas. La baja temperatura ayuda a preservar la integridad de los compuestos sensibles al calor y mejora la eficiencia de la extracción. La LPSE es útil para obtener extractos con una alta pureza y calidad; sin embargo, la técnica puede no ser tan adecuada para materiales con alta viscosidad.

Extracción con Dióxido de Carbono Supercrítico (SC-CO₂)

La extracción con dióxido de carbono supercrítico (SC-CO₂) es una técnica moderna que utiliza CO₂ en estado supercrítico como solvente para obtener carotenoides. En este estado, el CO₂ actúa como un solvente no tóxico y eficiente. El proceso implica preparar el material vegetal, colocarlo en un extractor, y aplicar CO₂ a altas presiones y temperaturas. El CO₂ extrae los carotenoides, que luego se separan del CO₂ al reducir la presión. Este método es altamente eficiente y produce extractos de carotenoides puros sin residuos de solventes contaminantes.

Extracción con Solventes

Este proceso comienza con la preparación del material vegetal, que puede incluir frutas y verduras ricas en carotenoides. El material se tritura o muele para aumentar

la superficie de contacto. Luego, se mezcla con solventes orgánicos como hexano, acetona o etanol, que disuelven los carotenoides. La solución resultante se filtra para eliminar residuos sólidos y se concentra mediante la evaporación del solvente. Este método es flexible y ampliamente utilizado, pero puede introducir residuos de solventes y puede no ser adecuado para aplicaciones que requieren alta pureza del extracto final.

Extracción Enzimática

La extracción enzimática utiliza enzimas específicas, para liberar carotenoides de la matriz celular de frutas y verduras. En este proceso, el material vegetal se tritura y se trata con enzimas como pectinasas o celulasas que descomponen las paredes celulares y facilitan la liberación de carotenoides. El extracto resultante se filtra y puede ser concentrado si es necesario. Este método tiene la ventaja de reducir el uso de solventes y de ser más suave en comparación con otros métodos, preservando la calidad de los carotenoides. Es especialmente útil para integrar carotenoides en piensos avícolas, donde se busca una mejor biodisponibilidad de los nutrientes.

Extracción con Ultrasonido

La extracción con ultrasonido emplea ondas acústicas para mejorar la liberación de carotenoides. En este método, las frutas o verduras se mezclan con un solvente y se someten a ondas ultrasónicas que aumentan la permeabilidad celular y facilitan la extracción de carotenoides. El extracto obtenido se filtra y se concentra. Este método es eficiente y rápido, reduciendo la necesidad de grandes cantidades de solventes y mejorando el rendimiento de la extracción. Es una opción efectiva para obtener carotenoides que se pueden añadir a los piensos avícolas.

Secado y Molienda

El secado y molienda de frutas y verduras es un método utilizado para obtener carotenoides en forma de polvo que puede ser incorporado en piensos para pollos. Primero, el material vegetal se seca usando técnicas como el secado al aire, secado por pulverización, o liofilización para eliminar la humedad y preservar los carotenoides. Luego, el material seco se muele para obtener un polvo fino. Este polvo puede ser mezclado directamente en los piensos. Este método permite un almacenamiento conveniente y una fácil incorporación de los carotenoides en los alimentos para pollos, aunque puede haber pérdidas de carotenoides sensibles al calor durante el secado (Sharma & Bhat, 2021).

La elección del método más adecuado dependerá de factores como la pureza del extracto requerido, el costo asociado, la naturaleza del material vegetal disponible, y consideraciones ambientales y de seguridad.

Métodos de Evaluación de la Pigmentación

La evaluación de la pigmentación emplea una serie de métodos e instrumentos específicos que permiten analizar las características del color en diferentes muestras. La elección suele estar guiada por el tipo de información necesaria. A continuación, se describen los métodos y técnicas más utilizados en este proceso:

Espectrofotometría

La espectrofotometría mide la absorbancia de luz en diversas longitudes de onda. Utilizando un espectrofotómetro (**Figura 1.5**), se analiza la cantidad de luz absorbida por los pigmentos en las muestras, lo que permite determinar la intensidad y el perfil de color. Esta técnica proporciona datos cuantitativos sobre la concentración de pigmentos y su distribución, facilitando la identificación de diferentes tipos de pigmentos y su comportamiento en diversas condiciones experimentales. La precisión en la medición de absorbancia también permite evaluar la pureza de los pigmentos y su potencial aplicación en formulaciones específicas.

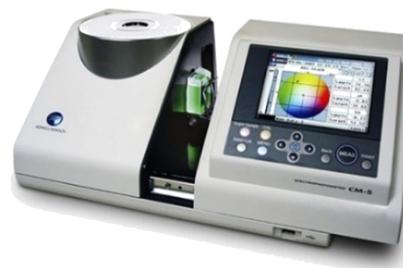


Figura 1.5. Espectrofotómetro

Nota: Konica Minolta. (n.d.). Espectrofotómetro CM-5 [Fotografía]. Konica Minolta.

Microscopía de Fluorescencia

La microscopía de fluorescencia se utiliza para examinar la distribución de pigmentos específicos en las muestras (**Figura 1.6**). En el proceso, se emplean colorantes fluorescentes que se enlazan selectivamente a los pigmentos o estructuras que se desea observar. Estos colorantes actúan como marcadores que, al ser excitados por una fuente de luz de alta energía, generalmente luz ultravioleta o azul, emiten luz visible, lo que permite identificar y cuantificar la presencia de los pigmentos con una resolución espacial muy alta. La microscopía de fluorescencia también ofrece la ventaja de permitir la observación en tiempo real, lo que es útil en estudios dinámicos de pigmentación en organismos vivos.



Figura 1.6. Microscopio de fluorescencia

Nota: MicroscopioPro. (n.d.). Microscopio de fluorescencia [Fotografía]. MicroscopioPro.

Espectroscopía

La espectroscopía de reflectancia mide la cantidad de luz reflejada por una superficie en función de su longitud de onda, proporcionando información sobre las propiedades ópticas de una muestra, como el color y los pigmentos. El principio de esta técnica se basa en que cada pigmento o molécula tiene un patrón característico de absorción y reflectancia de la luz en diferentes longitudes de onda. Por ejemplo, los carotenoides, que son responsables de los tonos amarillos y naranjas, reflejan más luz en la parte roja y amarilla del espectro, mientras que absorben más en la parte azul y verde. Además de identificar la naturaleza de los pigmentos, la espectroscopía de reflectancia es útil para cuantificar su concentración, evaluar cambios en la pigmentación bajo diferentes condiciones ambientales o tratamientos experimentales, y comparar la apariencia de distintas muestras.



Figura 1.7. Espectrómetro

Nota: Guíalab. (2020). Espectroscopía de reflectancia NIR y sus aplicaciones [Fotografía]. guialab

Análisis de Colorimetría

La colorimetría se basa en la medición objetiva del color mediante el uso de instrumentos especializados, como colorímetros (**Figura 1.8**). Estos dispositivos cuantifican los colores en términos de valores numéricos, empleando estándares internacionales, como el sistema CIE (Comisión Internacional de Iluminación), que define parámetros específicos para describir el color y que se basa en tres dimensiones: L^* (luminosidad), a^* (que mide la posición del color entre el rojo y el verde), y b^* (que indica la posición del color entre el amarillo y el azul). Este sistema puede, además, utilizarse para medir las propiedades de reflexión y absorción de la luz sobre las superficies, proporcionando información adicional sobre la intensidad y tonalidad del color.



Figura 1.8. Colorímetro

Nota: Konica Minolta. (n.d.). Lector de Color CR-20 [Fotografía]. Konica Minolta.

Pruebas de Solubilidad y Extracción

Las pruebas de solubilidad y extracción son procedimientos que se utilizan para preparar las muestras para el análisis. Mediante la disolución o extracción de pigmentos en solventes específicos, se facilita la evaluación de los pigmentos presentes en las muestras. Con este método se busca separar y concentrar los compuestos de interés, permitiendo una mejor identificación y cuantificación. El proceso facilita la evaluación de los pigmentos presentes, y ayudan a eliminar posibles interferencias de la matriz original. La selección del solvente adecuado y la optimización de las condiciones de extracción son claves para asegurar la precisión y fiabilidad de los resultados en las técnicas analíticas posteriores.



Figura 1.9.

Nota: Inakiresa. Extracción de pigmentos vegetales [Fotografía].

Evaluación Visual

La evaluación visual se enfoca en la observación directa y subjetiva de las características del color observables de una muestra, sin recurrir a métodos instrumentales complejos. El método consiste en comparar el color de la piel y la yema de huevo con escalas de color estandarizadas, como la escala de Roche que proporciona un rango de colores referenciales que se utilizan como base para comparar y evaluar el color observado en las muestras (**Figura 1.10**). En este proceso, se examinan características como el tono, la saturación y la intensidad del color en diferentes partes de la muestra. La comparación visual se realiza observando la muestra bajo condiciones de iluminación controladas para asegurar que el color se perciba de manera consistente.



Figura 1.10. Abanico Roche (DSM en la actualidad)

Nota: ORKA FOOD TECHNOLOGY. (n.d.). DSM Yolk Color Fan [Fotografía]. DSM ORKA FOOD TECHNOLOGY.

Conocer los fundamentos de la pigmentación en pollos es determinante para la producción avícola eficiente y competitiva. A través de una alimentación adecuada, el manejo de la salud y la selección genética, se puede mejorar la calidad y la apariencia de los productos, asegurando así el éxito comercial.

En resumen, la importancia comercial del color de la piel en los pollos de engorde radica en su capacidad para influir en las preferencias del consumidor y, en última instancia, en la percepción de calidad y valor del producto en el mercado global. En los siguientes capítulos de este libro, exploraremos estrategias específicas y estudios que ilustran cómo los productores pueden optimizar la coloración de la piel utilizando pigmentos naturales para mantener y mejorar su posición competitiva.

Fuentes Naturales de Carotenoides



© Freepik.es

En la búsqueda de alternativas sostenibles y efectivas para la producción de pollos de piel amarilla, hemos enfocado nuestra investigación en el uso de pigmentos provenientes de productos vegetales prominentes en Ecuador. En particular, para este primer volumen, hemos seleccionado la zanahoria, la remolacha y la calabaza debido a su relevancia y disponibilidad en el país.

Estos vegetales, ampliamente cultivados en Ecuador, no solo garantizan un suministro constante y accesible, sino que también la sostenibilidad de la cadena de suministro. Al utilizar productos locales, se reduce la dependencia de ingredientes importados, disminuyendo costos asociados con el transporte y almacenamiento, y fomentando prácticas más ecológicas.

Cada uno de estos vegetales ofrece características únicas que los hacen adecuados para la pigmentación de la piel de los pollos. La zanahoria, rica en β -caroteno, aporta un color amarillo vibrante. La remolacha, con sus intensos pigmentos rojos derivados de las betalaínas, proporciona un tono distintivo. El zapallo, conocido por su color amarillo anaranjado gracias a los carotenoides, añade versatilidad en la gama de colores obtenidos.

Además de sus propiedades pigmentarias, estos vegetales aportan beneficios nutricionales adicionales, lo que contribuye a una dieta más saludable para los pollos y, en consecuencia, para los consumidores finales. Su uso no solo favorece la mejora estética del producto, sino que también apoya la salud animal al ofrecer una alternativa natural y segura a los colorantes sintéticos.

Zanahoria (*Daucus carota* L.)

La zanahoria, es uno de los cultivos de hortalizas de raíz más consumidas a nivel mundial debido a su alto valor nutricional. Anualmente se producen cerca de 42 millones de toneladas de esta raíz tuberosa, colocándola entre los diez cultivos vegetales más importantes y el segundo más popular (FAO, 2019). Su popularidad se debe a la riqueza de nutrientes y compuestos bioactivos que promueven la salud (Spooner, 2019).

No obstante, después de la cosecha, entre el 25 y el 40 % de la producción total se descarta por no cumplir con los estándares comerciales de calidad, tamaño, forma o apariencia estética (Guerra *et al.*, 2023). Aunque estas conservan la misma frescura y valor nutricional que las destinadas al mercado, solo una mínima parte se aprovecha para la alimentación animal, mientras que el resto se convierte en residuos, generando no solo pérdidas económicas sino también problemas ambientales (Clementz *et al.*, 2019).

Los excedentes y productos no aprovechables de la zanahoria representan una oportunidad para su reutilización y valorización en otros sectores industriales. En particular, en la industria avícola, podrían utilizarse como una fuente natural de pigmentos carotenoides para pigmentar la piel de pollos de engorde, mejorando su apariencia y valor comercial.

Biología, Morfología y Anatomía

La zanahoria, conocida científicamente como *Daucus carota* L., es una planta herbácea bienal perteneciente a la familia APIACEAE. Su raíz tuberosa, cuyo color y forma varían según la variedad, es rica en carotenoides, vitaminas, fibra dietética, minerales y antioxidantes, lo que la convierte en un alimento altamente nutritivo (Singh *et al.*, 2021).

El desarrollo de la zanahoria (**Figura 2.1**) comienza a partir de los hipocótilos, formándose una raíz que generalmente adopta una forma alargada y cónica, aunque existen variedades con formas más cortas y redondeadas. Durante la fase vegetativa, la planta produce hojas finamente divididas que crecen en una roseta basal. Las hojas están conectadas a la base de la planta por medio de pecíolos largos y delgados, que aseguran el transporte eficiente de agua y nutrientes desde la raíz.

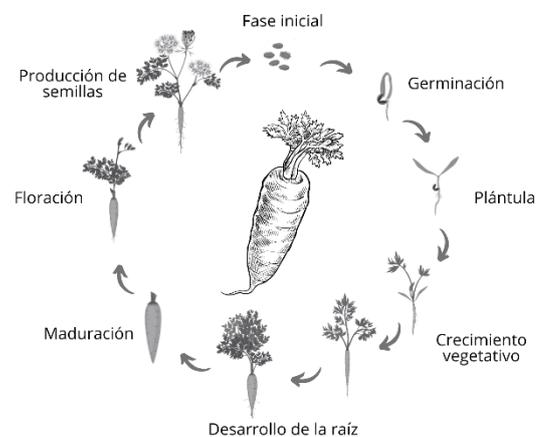


Figura 2.1. Ciclo de Vida de la Zanahoria

En la segunda fase del ciclo de vida de la zanahoria, la planta pasa a la etapa reproductiva. En esta etapa, produce flores blancas o rosadas agrupadas en umbelas compuestas, las cuales son polinizadas principalmente por insectos. Después de la polinización, estas flores generan semillas pequeñas y alargadas, esenciales para la propagación de la especie (Feng *et al.*, 2019).

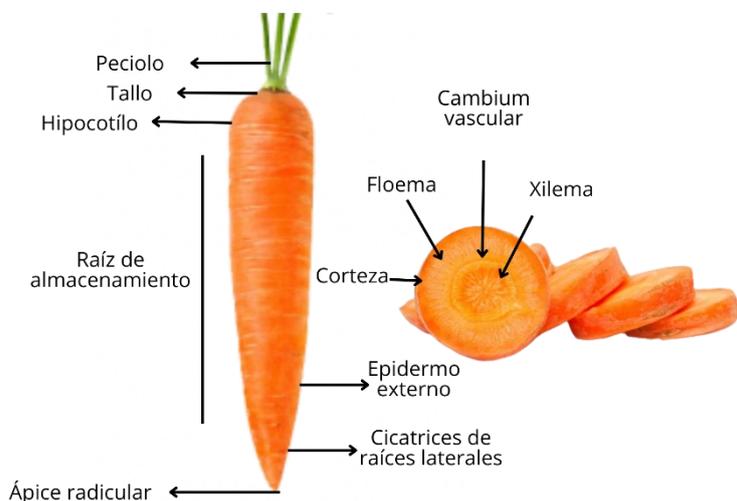


Figura 2.2. Morfología y Anatomía de la Raíz de la Zanahoria.

La anatomía de la zanahoria se centra en su estructura interna, principalmente la raíz (**Figura 2.2**), está cubierta por una epidermis delgada y transparente que protege contra daños físicos y patógenos. Debajo de la epidermis se encuentra la corteza, una capa más gruesa de células que almacena nutrientes y protege el tejido interno. Dentro de la raíz se encuentran los tejidos vasculares esenciales: el floema, responsable de transportar nutrientes elaborados desde las hojas hasta otras partes de la planta, y el xilema, que lleva agua y nutrientes inorgánicos desde las raíces hacia arriba. En el centro de la raíz se encuentra la médula, un tejido parenquimatoso que almacena nutrientes y agua para el crecimiento de la planta (Ahmad *et al.*, 2019).

Propiedades Nutricionales

La zanahoria (*Daucus carota L.*) es un vegetal reconocido por su composición química rica y variada (**Tabla 2.1**). Este alimento es rico en carbohidratos, incluyendo azúcares como glucosa, fructosa y sacarosa, además de fibra dietética compuesta por celulosa, hemicelulosa y pectina, que contribuyen tanto a la energía como a la salud digestiva. En cuanto a las proteínas, aunque las zanahorias contienen cantidades relativamente pequeñas, incluyen aminoácidos elementales como lisina, metionina y triptófano, necesarios para diversas funciones corporales. Además, las zanahorias tienen un contenido muy bajo en grasas, pero contienen ácidos grasos esenciales en pequeñas cantidades, fundamentales para la salud celular (Nagraj *et al.*, 2020).

Tabla 2.1. Perfil Nutricional de la Zanahoria: Macronutrientes y Componentes Principales

Nutritivo	Cantidad por 100 g	% Valor diario*
Calorías	41 kcal	–
Agua	88,29 gramos	–
Proteína	.93 gramos	1,86%
Carbohidratos	9,58 gramos	3,19%
Fibra dietética	2,8 gramos	11,2%
Azúcares	4,74 gramos	–
Grasa	.24 gramos	0,37%
Grasa saturada	0,04 gramos	0,20%
Grasa monosaturada	0,01 gramos	–
Grasa polinsaturada	.12 gramos	–
Colesterol	0 mg	0%

Nota: Ikram *et al.* (2024). Exploring the health benefits and utility of carrots and carrot pomace: a systematic review. *International Journal of Food Properties*, 27(1), 180-193.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2301569>

Las zanahorias son una excelente fuente de vitaminas (**Tabla 2.2**). Se destacan especialmente por su alto contenido en vitamina A en forma de β -caroteno, un pigmento carotenoide que el cuerpo convierte en vitamina A, crucial para la visión y el sistema inmunológico. También contienen vitamina K, indispensable para la coagulación de la sangre y la salud ósea, vitamina C, un potente antioxidante que fortalece el sistema inmunológico, y varias vitaminas del complejo B, como B1 (tiamina), B2 (riboflavina), B3 (niacina), B6 (piridoxina) y B9 (ácido fólico), que son esenciales para el metabolismo energético y la función nerviosa (Paparella *et al.*, 2024).

Tabla 2.2. Perfil Nutricional de las Zanahorias: Vitaminas

Nutritivo	Cantidad por 100 g	% Valor diario*
Vitamina A	835 μ g (de β -caroteno)	92,78%
Vitamina C	5,9 mg	6,56%
Vitamina K	13,2 μ g	11%
Vitamina E	0,66 mg	4,40%
Vitamina B6	.14 mg	8,24%

Nota: Ikram *et al.* (2024). Exploring the health benefits and utility of carrots and carrot pomace: a systematic review. *International Journal of Food Properties*, 27(1), 180-193.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2301569>

Los minerales presentes en las zanahorias (**Tabla 2.3**) incluyen potasio, que es fundamental para el equilibrio de los fluidos y la función muscular; fósforo, imprescindible para la formación de huesos y dientes y la producción de energía; calcio, necesario para la salud ósea y la coagulación sanguínea; magnesio, relevante

para la función neuromuscular y la síntesis de proteínas; y hierro, necesario para la formación de hemoglobina y el transporte de oxígeno en la sangre (Varshney & Mishra, 2022).

Tabla 2.3. Perfil Nutricional de las Zanahorias: Minerales

Nutritivo	Cantidad por 100 g	% Valor diario*
Potasio	320 mg	6,81%
Calcio	33 mg	3,30%
Hierro	.30 mg	1,67%
Magnesio	12 mg	2,86%
Fósforo	35 mg	5%
Sodio	69 mg	–
Zinc	.24 mg	2,18%
Manganeso	.14 mg	6,09%

Nota: Ikram *et al.* (2024). Exploring the health benefits and utility of carrots and carrot pomace: a systematic review. *International Journal of Food Properties*, 27(1), 180-193.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2301569>

Además de estos nutrientes vitales, las zanahorias contienen compuestos bioactivos y fitonutrientes con efectos beneficiosos para la salud. Entre estos se encuentran los carotenoides como el β -caroteno, alfa-caroteno y luteína, que poseen propiedades antioxidantes. También contienen poliacetilenos como el falcarinol y el falcarindiol, conocidos por sus efectos anticancerígenos, y flavonoides, que actúan como antioxidantes superiores con propiedades anticancerígenas y potenciadoras del sistema inmunológico. Además, tienen propiedades antihipertensivas, hepatoprotectoras y cicatrizantes. Por último, las zanahorias están compuestas aproximadamente por un 88-90% de agua, lo que las hace altamente hidratantes y bajas en calorías (Motegaonkar *et al.*, 2024).

Contenido de Carotenoides

En general, cada 100 g de zanahoria contiene de 16 a 38 mg de carotenoides β -caroteno (75%), α -caroteno (23%), luteína (1,9%), β -criptoxantina, licopeno y zeaxantina (Ahmad *et al.*, 2019). Dependiendo del contenido de carotenoides en la raíz de las zanahorias se forman los cultivares con colores blanco, naranja, rojo y morado. La variación de color en las zanahorias se debe a la presencia de diferentes pigmentos, a saber, carotenoides (amarillo y naranja) y antocianinas (púrpura); sin embargo, las zanahorias blancas no tienen pigmentos de color (**Figura 2.3**).

Estudios recientes indican que las zanahorias naranjas contienen un nivel de carotenoides diez veces mayor que otros cultivares, acumulados principalmente en el floema (Perrin *et al.*, 2017; Chevalier *et al.*, 2022). Específicamente, en las zanahorias naranjas, el β -caroteno representa el 65% del contenido total de

carotenoides. Por otro lado, la luteína constituye casi el 50% del contenido total de carotenoides en las zanahorias amarillas y moradas.

Las zanahorias naranjas son particularmente ricas en α -caroteno y β -caroteno, lo que las convierte en una excelente fuente de provitamina A. En estas zanahorias, el α -caroteno y el β -caroteno forman entre el 13% y el 40%, y entre el 45% y el 80% del contenido total de carotenoides, respectivamente. La concentración de carotenoides en las zanahorias está influenciada por varios factores, como la temporada de crecimiento, la madurez, el tipo de suelo y factores genéticos, siendo el tipo de cultivar el principal determinante de esta concentración (Bhandari *et al.*, 2022; Nagraj *et al.*, 2020).



Figura 2.3. Perfil de Carotenoides y Color en Cultivares de Zanahoria

Nota: Tomado de Vergel C. (2018). *Carrot-family*. Sensient Food Colors.

Potencial de la Zanahoria en la Avicultura

La zanahoria puede ser un componente valioso en la avicultura debido a su alto contenido de β -caroteno, el cual es responsable del característico color anaranjado del vegetal. Este pigmento podría contribuir a mejorar el color de la piel y la carne de las aves, haciéndolas potencialmente más atractivas para los consumidores, y podría tener un impacto positivo en su salud y productividad.

Evidencia Científica

La investigación reciente ha mostrado que el aceite de semilla de zanahoria prensado en frío, al ser incorporado en la dieta de pollos de engorde, no solo incrementa el peso y el rendimiento de la canal, sino que también mejora el color y la vida útil de la carne, haciéndola más luminosa y amarilla (Ürüşan *et al.*, 2018).

Por otro lado, la adición de hojas de zanahoria al alimento ha demostrado ser efectiva para aumentar la concentración de carotenoides en la yema de huevo, resultando en una yema más amarilla y brillante en comparación con el alimento convencional (Titcomb *et al.*, 2019). De manera similar, el uso de extracto de hoja de zanahoria en el agua de bebida ha mejorado significativamente el rendimiento de los

pollos en etapa final de crecimiento, destacándose en términos de consumo de alimento, aumento de peso y eficiencia de conversión alimenticia (Dabai *et al.*, 2021).

La incorporación de harina de zanahoria en la dieta también ha mostrado beneficios considerables, tales como una mayor tasa de crecimiento, peso vivo, y eficiencia alimentaria en pollos de engorde, sugiriendo una mejora en la conversión de alimentos y la retención de nitrógeno (Ng'Ambi *et al.*, 2019). Asimismo, reemplazar una parte del maíz en la dieta por pulpa de zanahoria ha sido efectivo para mejorar el consumo de alimento y la conversión alimenticia en pollos broiler (Khan, 2019).

Asimismo, la adición de jugo de desechos de zanahoria en el agua potable ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar la ganancia de peso y la eficiencia de conversión alimenticia en pollos nativos, sin afectar negativamente la mortalidad (Silondae *et al.*, 2023). Además, investigaciones recientes sugieren que las zanahorias podrían ofrecer una alternativa innovadora y económica para la producción de vacunas comestibles contra la influenza aviar (Su *et al.*, 2023).

Estos hallazgos destacan el potencial significativo de los subproductos de zanahoria en la optimización de la producción avícola. No obstante, aún queda por explorar el impacto pigmentante de la zanahoria en la piel y carne de los pollos de engorde, un área que podría revelar beneficios adicionales en la calidad del producto final.

Calabaza (*Cucurbita* spp.)

La calabaza, es una hortaliza de notable valor nutricional. Se cultiva y consume tanto por su fruto como por sus semillas oleaginosas, y es apreciada por sus propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, antivirales, antidiabéticas, antibacterianas, antiparasitarias y carcinopreventivas, valiosa para la salud. Con una producción global que supera los 22 millones de toneladas anuales, la calabaza destaca por su riqueza en vitaminas, minerales y antioxidantes, convirtiéndose en un alimento funcional importante (FAO, 2019).

A pesar de su relevancia nutricional, entre el 20% y el 30% de la producción de zapallo se descarta tras la cosecha debido a criterios comerciales como tamaño, forma o apariencia estética (Ezzat *et al.*, 2022). Además de la sobreproducción y problemas de almacenamiento, el proceso de separación de la pulpa genera productos de desecho significativos. Estos residuos contienen los mismos compuestos bioactivos y otros componentes de valor añadido que podrían ser altamente beneficiosos. Su desperdicio conlleva una pérdida de biomasa y nutrientes valiosos y puede causar graves problemas ambientales si no se gestionan adecuadamente.

Estos subproductos, podrían explorarse para varias otras aplicaciones como aditivos alimentarios o como nutracéuticos. En la industria avícola, los residuos de zapallo podrían aprovecharse como fuente natural de pigmentos carotenoides, mejorando así la coloración de la piel de los pollos de engorde y aumentando su valor estético y comercial.

Biología, Morfología y Anatomía

La calabaza, conocido científicamente como *Cucurbita* spp., pertenece a la familia CUCURBITACEAE y al género *Cucurbita*, que incluye varias especies cultivadas como *Cucurbita maxima* (incluye variedades como el zapallo criollo, zapallo plomo, y calabazas grandes de invierno), *Cucurbita pepo* (Abarca calabacines, calabazas de verano, y algunas calabazas ornamentales) y *Cucurbita moschata* (incluye variedades como el zapallo butternut, calabaza de Castilla, y calabazas de cuello) que son las más cultivadas en todo el mundo.

Además de las diferentes especies de calabaza, existen numerosas variedades que difieren de una misma especie en su composición química, color, forma y, debido a las condiciones agroclimáticas, en las medidas agrotécnicas. Sin embargo, con algunas diferencias entre variedades, todas las partes de la planta de la calabaza, es decir, frutos, flores, hojas, raíces, tallos y semillas, son comestibles.

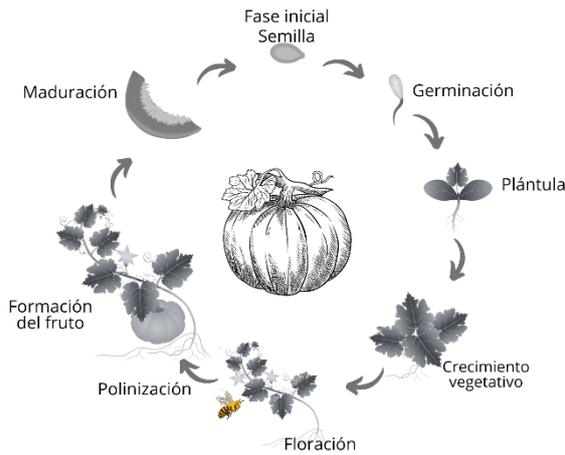


Figura 2.4. Ciclo de Vida de la Calabaza

Esta planta herbácea anual comienza su ciclo de vida a partir de semillas que germinan y crecen en un proceso que incluye desarrollo vegetativo, floración, polinización, formación de frutos y maduración (**Figura 2.4**). Generalmente, la calabaza presenta flores dioicas o monoicas, que son polinizadas por insectos.

En cuanto a su morfología la calabaza tiene un sistema radicular fibroso, con raíces primarias que penetran en el suelo y raíces secundarias que se extienden horizontalmente (**Figura 2.5**). El tallo de la planta es herbáceo, con forma cilíndrica o cuadrada y puede ser rastrero o trepador, equipado con zarcillos para sostenerse. Las hojas son grandes y de forma acorazonada o lobulada, con una textura áspera debido a la presencia de pelos. Estas hojas proporcionan una gran superficie para la fotosíntesis, esencial para el crecimiento de la planta.

Las flores de la calabaza son grandes y pueden ser de color amarillo a naranja, con una estructura que incluye flores masculinas agrupadas en racimos y flores femeninas solitarias. Las flores masculinas tienen estambres, mientras que las femeninas presentan un ovario que se desarrolla en el fruto. Este fruto, una baya grande, varía en forma desde esférica hasta alargada y su cáscara puede ser dura o suave, con colores que van desde verde hasta amarillo, naranja o blanco. En su interior, el fruto contiene una pulpa comestible y semillas planas y ovaladas, que también pueden consumirse tostadas.

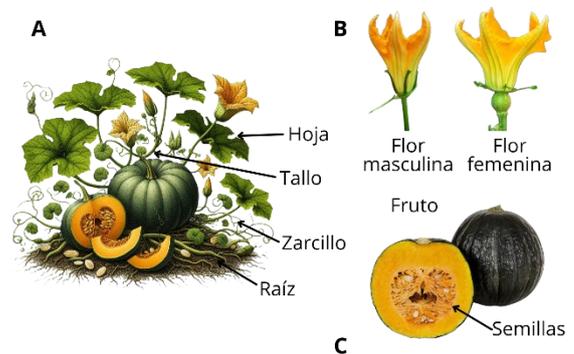


Figura 2.5. Morfología de la Calabaza

En términos de anatomía, el fruto de la calabaza está compuesto por varias capas (**Figura 2.6**). El pericarpio es la capa externa que puede ser dura o blanda, dependiendo de la madurez del fruto. El mesocarpio es la pulpa comestible que contiene nutrientes y tiene una textura

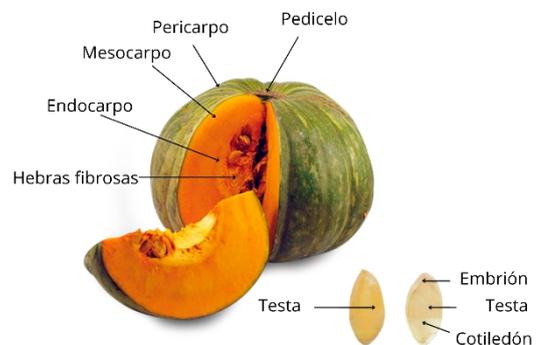


Figura 2.6. Anatomía de la Calabaza

fibrosa, mientras que el endocarpo es la capa interna que rodea las semillas. Las semillas tienen una testa dura y una parte interna que contiene el embrión y reservas nutritivas para el desarrollo de una nueva planta. El sistema vascular del zapallo incluye xilema, que transporta agua y nutrientes desde las raíces hasta las hojas, y floema, que distribuye los productos de la fotosíntesis a otras partes de la planta.

Propiedades Nutricionales

La calabaza es un alimento altamente nutritivo y versátil que ofrece una variedad de beneficios para la salud. Su perfil nutricional destaca por la presencia de vitaminas, minerales, fibra y antioxidantes, que la convierten en un excelente complemento para una dieta equilibrada.

La calabaza es rica en varias vitaminas esenciales (**Tabla 2.2**). La vitamina C, conocida por sus propiedades antioxidantes, ayuda a proteger las células del daño causado por los radicales libres. Además, favorece la absorción de hierro y contribuye al mantenimiento de un sistema inmunológico saludable. Por otro lado, la vitamina A, además de los carotenoides, se encuentra en formas preformadas en la calabaza, siendo crucial para la salud ocular, el sistema inmunológico y la integridad de la piel y las mucosas. También aporta vitaminas del complejo B, como la B1 (tiamina), B2 (riboflavina), B3 (niacina), B5 (ácido pantoténico) y B6 (piridoxina), que juegan un papel importante en el metabolismo energético, la producción de glóbulos rojos y el funcionamiento del sistema nervioso (Batool *et al.*, 2022).

Tabla 2.2. Contenido de Vitaminas en la Calabaza

Nutriente	Cáscara de calabaza	Fruta de calabaza	Semilla de calabaza
	(mg/100 g)	(mg/100 g)	(mg/100 g)
Vitamina A	0.426	0.019	0.0015
Vitamina C	9.0	0.3	0.61
Vitamina B1	0.05	0.034	0.09
Vitamina B2	0.11	0.052	0.05
Vitamina B3	0.6	0.286	1.61
Vitamina B5	0.298	0.056	0.24
Vitamina B6	0.061	0.037	0.05
Vitamina B9	0.016	0.009	0.0187
Vitamina E	1.06	NR	0.70
Vitamina K	0.001	NR	0.0023

Nota: Adaptado de Batool *et al.* (2022). Nutritional Value, Phytochemical Potential, and Therapeutic Benefits of Pumpkin (*Cucurbita* sp.). *Plants*, 11(11), 1394. <https://doi.org/10.3390/plants11111394>

La calabaza es una fuente rica en minerales esenciales (**Tabla 2.3**). El potasio, crucial para la función celular, el equilibrio de fluidos y el mantenimiento de una presión arterial saludable, es uno de los principales minerales presentes en la calabaza. El magnesio, importante para la función muscular y nerviosa, así como

para la salud ósea y la regulación del azúcar en sangre, también está presente en cantidades significativas. Aunque en menor cantidad comparado con otros alimentos, el calcio presente en la calabaza contribuye a la salud ósea y dental. Asimismo, el hierro, esencial para la formación de hemoglobina y el transporte de oxígeno en la sangre, completa el perfil mineral de la calabaza.

Tabla 2.3. Contenido de Minerales en la Calabaza

Nutriente	Cáscara de calabaza	Fruta de calabaza	Semilla de calabaza
	(mg/100 g)	(mg/100 g)	(mg/100 g)
Calcio	1.360	21	14.84
Hierro	4.004	0.8	2.84
Magnesio	3.353	12	190.92
Fosforo	1.419	44	397.64
Potasio	687.467	340	260.90
Sodio	9.652	1.0	2.26
Zinc	0.150	0.32	2.52
Cobre	0.025	0.127	0.43
Manganeso	0.360	0.125	1.47
Selenio	NR	0.3 µg	NR

Nota: Adaptado de Batool *et al.* (2022). Nutritional Value, Phytochemical Potential, and Therapeutic Benefits of Pumpkin (*Cucurbita sp.*). *Plants*, 11(11), 1394. <https://doi.org/10.3390/plants11111394>

En cuanto a su composición básica (**Tabla 2.4**), la calabaza se destaca como una excelente fuente de fibra dietética, tanto soluble como insoluble. Esta fibra proporciona múltiples beneficios para la salud, incluyendo la regulación del tránsito intestinal y la mejora de la salud cardiovascular. Además, la calabaza es baja en calorías y grasa, lo que la convierte en una opción ideal para quienes desean mantener o perder peso sin renunciar a una nutrición adecuada. Su bajo contenido calórico y de grasa permite disfrutar de sus beneficios sin preocupaciones sobre la ingesta calórica.

Tabla 2.4. Contenido de Básica Nutricional de la Calabaza

Nutriente	Cáscara de calabaza	Fruta de calabaza	Semilla de calabaza
	(mg/100 g)	(mg/100 g)	(mg/100 g)
Energía	520.78 kJ	109 kJ	NR
Agua	89.527 mg	91.6 g	1.69 g
Lípidos	1.650 mg	0.1 g	15.82 g
Proteína	14.670 mg	1.0 g	9.75 g
Ceniza	7.317 mg	0.8 g	1.54 g
Fibra dietética	13.383 mg	0.5 g	1.94 g
Carbohidratos	12.407 mg	6.5 g	3.45 g
Azúcares totales	7.633 mg	2.76 g	NR
Calorías	NR	26 kcal	180.28 kcal
Caroteno, beta	NR	3100 µg	NR
Caroteno, alfa	NR	4016 µg	NR

Nota: Adaptado de Batool *et al.* (2022). Nutritional Value, Phytochemical Potential, and Therapeutic Benefits of Pumpkin (*Cucurbita sp.*). *Plants*, 11(11), 1394. <https://doi.org/10.3390/plants11111394>

Contenido de Carotenoides

Los principales carotenoides que se encuentran en la calabaza son la zeaxantina, luteína, β -caroteno y el equivalente de retinol. El β -caroteno es el carotenoide predominante en la calabaza y puede encontrarse en concentraciones que van desde 10 hasta 50 mg por cada 100 gramos de pulpa, dependiendo del tipo específico de calabaza y su estado de madurez (**Figura 2.7**).

La zeaxantina, aunque presente en menores concentraciones que el β -caroteno, suele encontrarse en el rango de 1 a 5 mg por cada 100 gramos de pulpa. La luteína también está en concentraciones similares, entre 1 y 5 mg por cada 100 gramos de pulpa. Finalmente, el retinol equivalente en la calabaza, que refleja la cantidad de vitamina A que puede ser producida a partir de los carotenoides, tiene un



Figura 2.7. Variedades de Calabazas

Nota: Foto de freepik.es

promedio de aproximadamente 3 a 10 μ g por cada 100 gramos de pulpa (Kulczyński & Gramza-Michałowska, 2019; Ninčević Grassino *et al.*, 2023).

Factores internos y externos, como la variedad, las condiciones de cultivo, el tiempo de maduración y el almacenamiento, afectan las concentraciones de luteína y β -caroteno en la calabaza. Generalmente, las variedades de colores más intensos contienen mayores concentraciones de β -caroteno. Además, la exposición al sol, la temperatura, la disponibilidad de agua y la composición química del suelo afectan directamente esta concentración.

Potencial de la Calabaza en la Avicultura

La inclusión de calabaza en la dieta avícola podría proporcionar una fuente natural de vitamina A, favoreciendo una mejor salud general en las aves (El-Sabrouit *et al.*, 2023). Además, la calabaza aporta fibra, vitaminas y minerales esenciales, que podrían mejorar la calidad del huevo y fortalecer el sistema inmunológico de las aves, reduciendo su susceptibilidad a enfermedades.

La fibra dietética contenida en la calabaza podría desempeñar un papel importante en la regulación del tránsito intestinal y la mejora de la digestión en las aves. La presencia de prebióticos en la calabaza puede promover el crecimiento de microorganismos beneficiosos en el tracto digestivo, lo que optimiza la digestibilidad de otros nutrientes y reduce problemas gastrointestinales comunes (Achilonu *et al.*, 2018). Esto podría resultar en una mejor salud digestiva y un rendimiento más eficiente de las aves.

Los carotenoides presentes en la calabaza también podrían influir en la coloración de la piel y la carne de las aves, así como en el color de la yema de huevo. La pigmentación natural que aporta la calabaza podría mejorar la apariencia de los productos avícolas, haciéndolos más atractivos para los consumidores. Una coloración vibrante no solo aumenta el valor estético, sino que también puede ser percibida como un indicador de mayor calidad nutricional, lo que podría beneficiar el valor comercial de los productos.

La calabaza puede ser una opción viable como recurso alimenticio, especialmente cuando se utilizan partes que de otro modo serían desechadas. Su cultivo local podría reducir la necesidad de importar alimentos para aves, disminuyendo así los costos de alimentación. La integración de calabaza en la dieta avícola también puede contribuir a prácticas más sostenibles, al aprovechar recursos locales y reducir el desperdicio, lo que podría tener un impacto positivo en la economía y el medio ambiente.

Los antioxidantes presentes en la calabaza pueden ayudar a combatir el estrés oxidativo en las aves, mientras que sus propiedades antiinflamatorias podrían reducir la incidencia de enfermedades y mejorar el bienestar general. Estos beneficios pueden traducirse en una mejor salud y rendimiento de las aves, así como en una reducción de problemas de salud crónicos. La inclusión de calabaza en la dieta avícola podría, por tanto, contribuir al bienestar de las aves y optimizar su rendimiento general (Achilonu *et al.*, 2018).

Evidencia Científica

Diversos estudios han demostrado los beneficios de integrar productos derivados del zapallo en la dieta de aves de corral. Ubaque *et al.* (2015) encontraron que sustituir el grano de maíz con harina integral de zapallo mejora significativamente el rendimiento de los pollos de engorde. Esta sustitución favorece el peso vivo, la ganancia de peso, el peso en canal, así como la conversión y eficiencia alimenticia. Además, se observó una reducción en el contenido de grasa abdominal, lo cual es beneficioso para la calidad de la carne, junto con un notable aumento en la pigmentación de la piel.

El estudio de Wady y Jassem (2019) destacó los beneficios del extracto de hojas de calabaza en la dieta de los pollos de engorde. Este aditivo mejoró el peso corporal y la tasa de ganancia de peso, además de aumentar el consumo de alimento. La eficiencia en la conversión alimenticia también mostró una mejora, sugiriendo una utilización más efectiva del alimento. Asimismo, la proporción de desposte a las 5 semanas de edad reflejó un rendimiento superior en la producción de carne. Los costos económicos y la guía de producción también mostraron beneficios, sin afectar negativamente la salud de las aves.

Wafar *et al.* (2017) analizaron el efecto de la harina de semilla de zapallo en el crecimiento y características de la canal de los pollos de engorde. Los resultados mostraron un incremento significativo en el peso corporal final, la ganancia total de peso y el aumento promedio diario de peso conforme aumentaron los niveles de harina en las dietas. Aunque se detectaron diferencias significativas en el peso vivo y el peso de la canal entre los tratamientos, no se identificó un patrón específico.

Flórez Delgado y Cobos Lizarazo (2021) concluyeron que la harina de *Cucurbita moschata* no afecta significativamente los parámetros productivos como la ganancia de peso, la conversión alimenticia y el rendimiento en canal en comparación con la alimentación convencional. Sin embargo, resalta un beneficio económico significativo, ya que su uso reduce los costos de alimentación, convirtiéndola en una opción viable y sostenible para sistemas de producción campesinos.

Finalmente, Vlaicu y Panaite (2022) evidenciaron que la harina de semilla de calabaza (*Cucurbita moschata*) en la dieta de gallinas ponedoras mejora la calidad de los huevos, enriqueciendo su contenido con ácidos grasos poliinsaturados y reduciendo el colesterol en la yema y el huevo total. Además, se observó un efecto antioxidante que retrasa la oxidación de lípidos y la desnaturalización de proteínas, prolongando la vida útil de los huevos durante 28 días.

Por otra parte, El-Saadany *et al.* (2022) encontraron que la suplementación con aceite de calabaza al 0,5% tiene beneficios en la salud y productividad de las aves, como la reducción de colesterol y triglicéridos en sangre, mejora en la producción y masa de huevos, y la optimización de parámetros antioxidantes. Además, el aceite enriqueció la yema de huevo con ácidos grasos beneficiosos, destacando el aceite de semilla de calabaza como un aditivo natural eficaz para mejorar la salud, el rendimiento productivo y la calidad del huevo en gallinas ponedoras.

Estos hallazgos muestran el potencial de la calabaza en la avicultura, sugiriendo que su inclusión en las dietas de aves puede ofrecer mejoras significativas tanto en el rendimiento productivo como en la calidad del producto, mientras contribuye a la sostenibilidad económica y ambiental de la producción avícola.

Remolacha (*Beta vulgaris*)

La remolacha es una hortaliza de raíz ampliamente cultivada debido a su valor nutricional y versatilidad en diversas industrias. A nivel mundial, se producen más de 250 millones de toneladas anuales de remolacha (FAO, 2020). Esta producción se destina principalmente al consumo humano como remolacha de mesa, a la elaboración de azúcar a partir de remolacha azucarera, y como fuente de colorantes naturales y aditivos en la industria alimentaria.

La remolacha destaca por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y desintoxicantes, lo que la convierten en un alimento con múltiples beneficios para la salud. Sin embargo, se estima que entre el 20 % y el 40 % de la remolacha cosechada no llega al mercado debido a imperfecciones estéticas. Además, después del procesamiento industrial, se genera hasta 1.3 millones de toneladas anuales de residuos que generalmente se eliminan como basura orgánica, contribuyendo a la contaminación ambiental (Abdo *et al.*, 2020).

Estos subproductos representan una valiosa fuente de fitoquímicos que podrían recuperarse y utilizarse para desarrollar alimentos funcionales, productos farmacéuticos y otros compuestos de valor. Además, tienen un gran potencial para ser reutilizados en la producción de biocombustibles, alimentación animal y compostaje. En la industria avícola, los residuos de remolacha podrían emplearse como fuente natural de pigmentos para mejorar la coloración de la piel de los pollos de engorde y aumentar su valor en el mercado.

Biología, Morfología y Anatomía

La remolacha conocida científicamente como *Beta vulgaris*, pertenece a la familia AMARANTHACEAE y al género *Beta*. Incluye varias formas cultivadas, como la remolacha común (*Beta vulgaris sub. vulgaris*), la remolacha azucarera (*Beta vulgaris sub. altissima*) y la remolacha forrajera *Beta vulgaris sub. Crassa*.

Esta planta, herbácea anual, inicia su ciclo de vida a partir de semillas que germinan en condiciones óptimas de temperatura y humedad (Figura 2.8). Durante la germinación, las semillas desarrollan plántulas que se convierten en plantas jóvenes. En la fase de desarrollo vegetativo, la planta expande sus hojas y su raíz comienza a engordar a medida que acumula nutrientes.

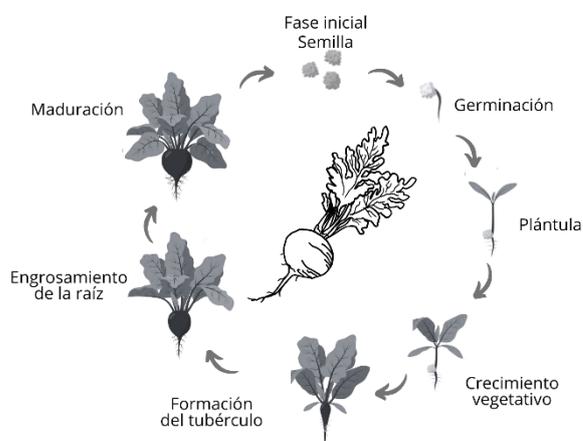


Figura 2.8. Ciclo de Vida de la Remolacha

Posteriormente, en la etapa de formación del tubérculo, ocurre el engrosamiento de la raíz y la acumulación de reservas alimenticias. La última etapa es la maduración y la cosecha, que se realiza antes de la floración, cuando el tubérculo ha alcanzado el tamaño adecuado y ha acumulado suficientes reservas de nutrientes.

Algunas variedades de remolacha pueden llegar a la etapa de floración, donde produce flores pequeñas que son polígamas, es decir, pueden ser tanto masculinas como femeninas, posteriormente desarrollan cápsulas que contienen las semillas dispuestas en espigas que pueden ser polinizadas por insectos.

En cuanto a su morfología, la calabaza tiene una raíz principal que constituye la parte más prominente de la planta. Esta raíz tiene una forma que suele ser globosa o cilíndrica, y su color varía desde blanco hasta un rojo intenso, dependiendo de la variedad cultivada. La planta también desarrolla un sistema de raíces secundarias que ayuda a absorber nutrientes y agua del suelo. Las hojas de la remolacha, por su parte, son grandes y presentan una forma variable que puede ser lobulada o redondeada. Estas hojas crecen a partir de pecíolos largos y tienen un color verde brillante en la mayoría de las variedades, aunque algunas pueden tener tonalidades púrpuras. Los pecíolos, que conectan las hojas con la raíz, a menudo presentan un color rojo o púrpura, especialmente en las variedades de remolacha roja. Por último, el tallo, que solo se desarrolla en la segunda temporada de crecimiento, se alza y ramifica para sostener las flores, facilitando la reproducción sexual.

La anatomía de la remolacha está compuesta por varias capas (**Figura 2.10**). En el centro se encuentra el cilindro vascular, que contiene los tejidos de xilema y floema, encargados del transporte de agua, nutrientes y productos fotosintéticos. Alrededor del cilindro vascular hay una capa de tejido cortical que almacena almidón y azúcares, y una capa externa de epidermis que protege la raíz. El tallo floral, está formado por tejido vascular central rodeado por tejido cortical y epidermis. Este tallo puede llegar a medir entre 1 y 2 metros de altura y es crucial para la producción de flores y semillas. Las flores, que se agrupan en espigas terminales, son pequeñas y pueden ser de color verde o amarillo. La estructura floral incluye sépalos, pétalos, estambres y pistilos, dependiendo del tipo de flor. El fruto es una cápsula seca que se abre al madurar, liberando las semillas pequeñas que serán dispersadas para iniciar el ciclo de vida de una nueva planta.

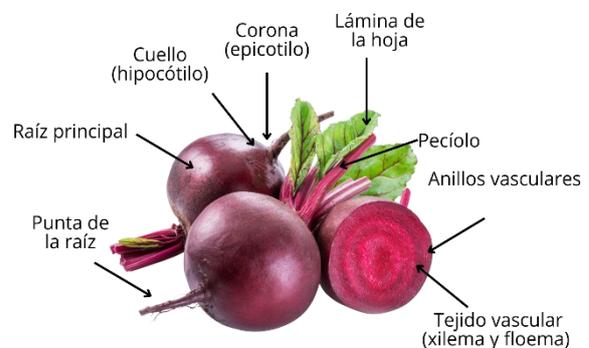


Figura 2.8. Morfología y Anatomía de la Remolacha

Propiedades Nutricionales

La remolacha (*B. vulgaris*) es un vegetal destacado por su riqueza en compuestos bioactivos entre los que se incluyen betalainas, compuestos fenólicos, flavonoides, saponinas, amidas fenólicas, carotenoides y vitaminas (Figura 2.11). Este vegetal es una excelente fuente de vitaminas del complejo B, particularmente de vitamina B6 (piridoxina), esencial para el metabolismo de las proteínas y la síntesis de neurotransmisores. También es rica en vitamina C, un antioxidante poderoso que facilita la absorción de hierro y refuerza el sistema inmunológico. Adicionalmente, la remolacha aporta ácido fólico y vitaminas liposolubles como la vitamina A (retinol), vitamina E (tocoferol), y vitamina K (fitonadiona), las cuales desempeñan roles clave en la prevención del cáncer y el funcionamiento óptimo del sistema neurológico (Babarykin *et al.*, 2019).

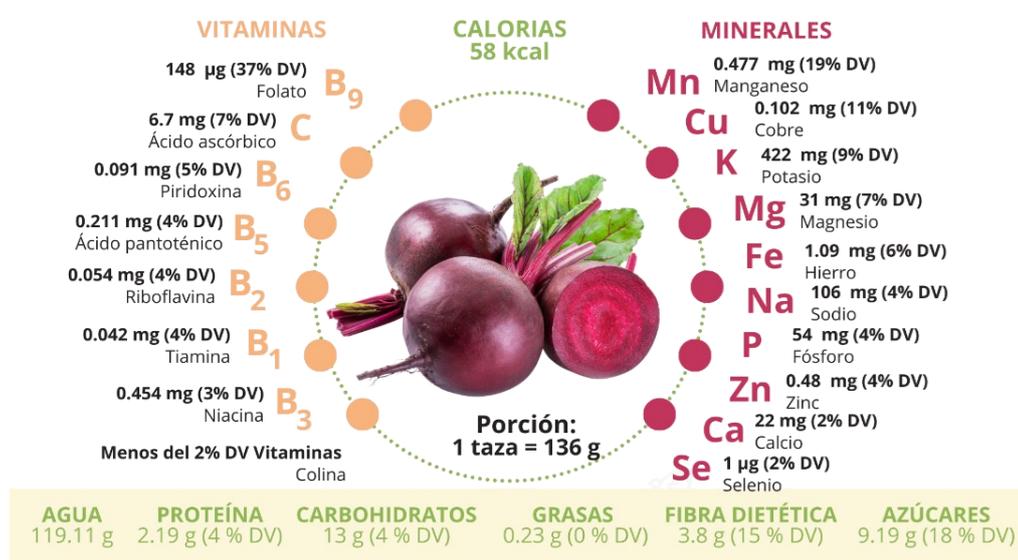


Figura 2.11. Información Nutricional de la Remolacha

En cuanto a minerales, la remolacha es una fuente valiosa de hierro, manganeso, magnesio, calcio, sodio, zinc, fósforo y potasio. El hierro es indispensable para la formación de glóbulos rojos, mientras que el manganeso contribuye a la formación ósea y al metabolismo general. El magnesio y el potasio son fundamentales para la función muscular y la regulación de la presión arterial, y el cobre facilita la absorción de hierro, además de fortalecer huesos, dientes y tejidos (Abdo *et al.*, 2020).

La fibra dietética es otro componente significativo de la remolacha, que incluye betaglucanos y pectinas, los cuales favorecen la salud digestiva al regular el tránsito intestinal y mejorar la eficiencia digestiva tanto en humanos como en animales, además de ayudar a controlar los niveles de colesterol en sangre.

Respecto al aporte energético, la remolacha es una fuente notable de carbohidratos, especialmente en forma de azúcares simples como la sacarosa, lo que la hace ideal

para dietas que requieren un alto contenido energético, como en la alimentación animal. Aunque su contenido proteico no es elevado, la remolacha suministra algunos aminoácidos esenciales que complementan otras fuentes de proteínas en la dieta (Skalicky *et al.*, 2020).

Otra característica relevante es el contenido de betalaínas, un pigmento natural soluble en agua que incluye betacianinas (responsables del color rojo violeta) y betaxantinas (responsables del color amarillo anaranjado). Las betalaínas poseen potentes propiedades antioxidantes que protegen contra enfermedades degenerativas. En promedio, la remolacha contiene 120 mg de betalaínas por cada 100 g de peso fresco, con una relación de betacianinas a betaxantinas de 1:3. Cabe destacar que la cáscara de la remolacha presenta la mayor concentración de estas betalaínas (Domínguez *et al.*, 2020). Además de sus beneficios antioxidantes, la remolacha exhibe propiedades antiinflamatorias que pueden contribuir a la reducción de la inflamación en el organismo. Pese a su abundancia en nutrientes, la remolacha es baja en calorías y grasas, lo que la convierte en una opción saludable en diversas dietas.

Contenido de Carotenoides

Aunque la remolacha es más conocida por su color rojo, atribuible principalmente a las betalaínas, también contiene carotenoides, aunque en menor cantidad. Entre los carotenoides presentes en la remolacha se encuentran el β -caroteno, que es un precursor de la vitamina A y responsable de la coloración amarilla en algunas variedades de remolacha. Mientras que la remolacha roja no es particularmente rica en β -caroteno, algunas variedades de remolacha amarilla pueden tener mayores concentraciones (Figura 2.9). Además, la remolacha contiene luteína y zeaxantina, carotenoides asociados con la salud ocular y con propiedades antioxidantes, aunque en menores cantidades. El licopeno, aunque más común en tomates, también está presente en pequeñas cantidades en la remolacha, contribuyendo a la salud cardiovascular y ofreciendo propiedades antioxidantes (Acharya *et al.*, 2021).



Figura 2.8. Variedades de Remolacha
Nota: Ingram, J. (2015). Mezcla y combina: desde el dulce 'Detroit Dark Red' hasta el terroso 'Chioggia' [Fotografía]. The Telegraph.

Potencial de la Remolacha en la Avicultura

La remolacha, gracias a su perfil nutricional y riqueza en compuestos bioquímicos, se cree tiene un gran potencial para la avicultura. Las betalaínas presentes en la remolacha, poseen propiedades antioxidantes que pueden neutralizar los radicales libres y mitigar la inflamación. Esta característica es particularmente relevante en el contexto avícola, ya que el estrés oxidativo puede afectar negativamente la salud y el rendimiento de las aves. Además, la fibra de la remolacha favorece la digestión, optimizando la salud gastrointestinal y la absorción de nutrientes, lo que podría beneficiar el crecimiento y la productividad de las aves.

Por otro lado, la remolacha es rica en vitaminas y minerales esenciales, como el ácido fólico, la vitamina C, el hierro, el potasio y el magnesio, que son fundamentales para diversos procesos fisiológicos en las aves. Además, los pigmentos naturales de la remolacha podrían mejorar el color de los tejidos y huevos de las aves, aumentando su atractivo en mercados donde la apariencia es clave para la aceptación del consumidor.

Evidencia Científica

La inclusión de a remolacha y sus subproductos en la dieta avícola se justifica por una serie de beneficios comprobados que respaldan su uso como un aditivo alimentario eficaz y natural. Diversos estudios han demostrado que, aunque su impacto en la pigmentación de la yema de huevo puede ser limitado, la remolacha ofrece importantes ventajas en términos de salud, rendimiento productivo y bienestar de las aves (Meza-Quintero *et al.*, 2016).

En cuanto al rendimiento productivo, se ha observado que la remolacha, especialmente en niveles moderados de inclusión, mejora parámetros clave como la producción de huevos, el peso de estos, y la salud general de las aves (Prasetyo *et al.*, 2024). Estos beneficios se deben a las propiedades nutricionales de la remolacha, que incluyen compuestos antioxidantes y polifenólicos, los cuales no solo optimizan el rendimiento productivo, sino que también refuerzan el sistema inmunológico de las aves y mejoran la absorción de nutrientes (Abbas *et al.*, 2017). Además, la remolacha ha demostrado tener efectos anticoccidiales y antibacterianos, contribuyendo a la salud intestinal y reduciendo la incidencia de infecciones en las aves (Abbas *et al.*, 2017; Prasetyo *et al.*, 2024).

La remolacha también contribuye a la mitigación del estrés oxidativo y otros factores que pueden comprometer la salud avícola. Su capacidad para proteger a las aves contra el estrés oxidativo inducido por metales pesados como el cadmio demuestra su papel modulador del sistema inmunológico, favoreciendo la respuesta inmune y estabilizando la salud de las aves bajo condiciones adversas (Vasiljeva *et al.*, 2018).

Por otro lado, su influencia en la pigmentación, aunque no siempre significativa en términos de intensidad, responde a las preferencias del consumidor y añade un valor estético al producto final (Tamayo Mera, 2022). Incluso en aquellos casos donde el impacto en la coloración es moderado, los otros beneficios asociados con la salud y el rendimiento productivo de las aves hacen que la remolacha sea un componente valioso en la alimentación avícola (Al-waeli *et al.*, 2021).

En resumen, la evidencia científica respalda el uso de la remolacha como un aditivo alimentario que, además de mejorar ciertos aspectos de la pigmentación, ofrece múltiples ventajas en la producción avícola, contribuyendo a la salud, rendimiento y sostenibilidad de las aves. Por ello, su inclusión en la dieta avícola no solo es una opción viable, sino que también puede ser una estrategia económica y eficiente para los productores.

Hasta el momento, pocos estudios han explorado y abordado las implicaciones de la remolacha y sus subproductos en la pigmentación de la piel de los pollos, es la razón para la necesidad de llevar a cabo investigaciones adicionales.

Evaluación Comparativa de Pigmentos Naturales



La búsqueda de alternativas naturales en la industria avícola es un reflejo de la tendencia global hacia una producción más sostenible y saludable. En la producción de pollos de piel amarilla, tradicionalmente dependiente de pigmentos sintéticos, se abre un nuevo camino con el uso de pigmentos naturales provenientes de fuentes vegetales.

Este capítulo, dedicado a la evaluación comparativa de pigmentos naturales, surge de la necesidad de explorar opciones que no solo cumplan con los estándares de calidad y apariencia exigidos por los consumidores, sino que también aporten beneficios adicionales al bienestar y la salud de las aves. A lo largo de nuestra investigación, hemos enfocado nuestros esfuerzos en diferentes fuentes vegetales. En este primer volumen nos centramos en: la zanahoria, la calabaza y la remolacha, cada uno de ellos, ha sido seleccionado cuidadosamente en base a su potencial pigmentante y su impacto positivo en la producción avícola.

El propósito de este capítulo es presentar de manera integrada los hallazgos de nuestros estudios, ofreciendo una visión completa sobre cómo estos pigmentos pueden ser empleados en la producción de pollos de piel amarilla. Ofrecemos una narrativa que abarca desde la planificación de los experimentos hasta la interpretación de los resultados, permitiendo al lector comprender no solo lo que se encontró, sino también las implicaciones prácticas de estos hallazgos.

Esperamos que este capítulo sirva como una guía útil para productores, investigadores y todos aquellos interesados en avanzar hacia una avicultura más natural y eficiente.

Estudio práctico

En tres estudios distintos se evaluó la efectividad de la zanahoria, el zapallo y la remolacha como pigmento natural en la dieta de pollos de engorde Cobb 500. El objetivo fue determinar si la inclusión de diferentes niveles de estos vegetales influye en la pigmentación de la piel y en otros parámetros productivos de las aves. Cada estudio utilizó 64 pollos sin sexar, distribuidos en cuatro grupos de 16 aves: tres dietas experimentales y una dieta control. Las dietas experimentales consistieron en la suplementación del alimento balanceado comercial con harina de cada vegetal en cuatro niveles diferentes: 5, 10 y 15 % (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Dietas Experimentales

Componentes dietéticos	T1	T2	T3	T4
Alimento balanceado comercial (ABC)	100 %	100 %	100 %	100 %
Harina vegetal	0 %	5 %	10 %	15 %

Manejo

Las aves, adquiridas a los 5 días de edad con un peso inicial promedio de 45 g, fueron alojadas en un círculo de crianza hasta el décimo cuarto día. Posteriormente, fueron distribuidas aleatoriamente en las unidades experimentales de cada estudio. Durante los primeros veintiún días, todos los grupos recibieron una dieta estándar formulada para satisfacer los requerimientos nutricionales en cada etapa de crecimiento. A partir de la semana cuatro, y hasta el final del período experimental, las aves recibieron alimento balanceado comercial con diferentes niveles de harina de zanahoria, zapallo o remolacha, dependiendo del estudio. Todas las aves fueron inmunizadas contra la enfermedad de Newcastle, la bronquitis infecciosa y la enfermedad de Gumboro, y tuvieron acceso libre a agua limpia y alimento.

Elaboración de Harinas Vegetales

Los descartes de zanahoria (*Daucus carota subsp. sativus*), calabaza (*Cucurbita maxima*), y remolacha (*Beta vulgaris subsp. vulgaris*) fueron suministrados por galpones de empaque ubicados en los cantones de Ambato (Tungurahua) y Cayambe (Pichincha) en Ecuador. Se seleccionaron las variedades comúnmente cultivadas para la comercialización. Todos los vegetales fueron lavados con agua clorada al 0.1% y cortados en rodajas o julianas de aproximadamente 2 mm de grosor utilizando un cortador Liruan (modelo TM2 INOX). Las zanahorias se secaron a 60 °C durante 20 horas, los zapallos a 45 °C durante 24 horas, y las remolachas a 65 °C durante 15 horas, todos en un deshidratador Vikale (modelo MQ-DH-10). Posteriormente, los vegetales secos se molieron hasta convertirla en polvo utilizando un molino manual Victoria (modelo 30018), obteniéndose un rendimiento

de 13.50% para la zanahoria, 15% para el zapallo, y 13.32% para la remolacha (**Figura 3.1**). Finalmente, las harinas resultantes se envasaron en bolsas de polipropileno con autocierre y se almacenaron en cajas de cartón en condiciones de temperatura ambiente y humedad controlada para preservar su vida útil.

Figura 3.1.



Análisis Nutricional de Harinas Vegetales

Para determinar la composición nutricional de la harina de zanahoria, calabaza y remolacha, se enviaron muestras de cada vegetal al laboratorio para un análisis bromatológico, cuyos resultados se presentan en la **Tabla 3.2**.

El contenido total de carotenoides se determinó mediante espectrofotometría a 450 nm (Espectrofotómetro UV-VIS modelo T6U-UV-VIS). Los valores obtenidos fueron 21.34 mg/100 g para la harina de zanahoria, 35.2 mg/100 g para la harina de calabaza y 24.9 mg/100 g para la harina de remolacha.

Tabla 3.2. Perfil Nutricional de Harinas Vegetales y Alimento Balanceado

Parámetro	Alimento Balanceado	Harina de Zanahoria	Harina de Calabaza	Harina de Remolacha	Método
(%) Humedad	13	9,2	15,98	7,3	AOAC, Ed. 21. 2019 934.01
(%) Proteína	18	8,92	7,72	8,50	AOAC, Ed. 21. 2019 2001.11
(%) Grasa	5	1,34	2,33	0,62	AOAC, Ed. 21. 2019 920.39
(%) Ceniza	7	5,78	6,40	8,66	AOAC, Ed. 21. 2019 942.05
(%) Fibra	4	7,84	6,44	14	ISO 16472-2007

Nota: Los valores nutricionales del alimento balanceado utilizado en la formulación de la dieta se obtuvieron a partir de la tabla de composición del alimento.

Metodología de evaluación

Durante los 39 días que las aves se mantuvieron en el galpón, se llevó un registro diario del consumo de alimento, restando el alimento rechazado del total suministrado. Se realizaron mediciones semanales del peso y se controló diariamente el estado de salud y la mortalidad. El pesaje se efectuó a las 7:00 a.m., antes del suministro de alimento. Posteriormente, en la fase de evaluación se calcularon y analizaron los siguientes parámetros productivos en cada tratamiento:

Consumo de alimento (g): Para estimar cuánto alimento consumieron las aves, se dividió la cantidad total de alimento proporcionado entre la cantidad de aves alimentadas.

$$\text{Consumo de alimento (g/ave)} = \frac{\text{Cantidad total de alimento proporcionado (g)}}{\text{Número de aves alimentadas}}$$

Ganancia de peso (g): Para calcular, la ganancia de peso experimentada por las aves, se restó el peso inicial del peso final.

$$\text{Ganancia de peso (g)} = \text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)}$$

Índice de conversión alimenticia (ICA): Se calculó dividiendo el alimento consumido entre el peso ganado. Un índice de conversión alimenticia más bajo es indicativo una mayor eficiencia en la conversión de alimento en masa corporal.

$$\text{Índice de Conversión Alimenticia (ICA)} = \frac{\text{Cantidad total de alimento consumido (g)}}{\text{Ganancia de peso}}$$

Tasa de mortalidad (%): Se determinó dividiendo el número de aves muertas entre el número de aves al iniciar el periodo.

$$\text{Tasa de Mortalidad (\%)} = \frac{\text{Número de aves muertas}}{\text{Número de aves al inicio del periodo}} \times 100$$

Rentabilidad: Se estimó mediante la relación beneficio/costo, considerando únicamente los costos de alimentación y vacunación, y los ingresos por venta de la carne de pollo en función del peso. Un valor > 1 es indicativo de que el proyecto es rentable.

$$\text{Relación B/C(\%)} = \frac{\text{Ingresos}}{\text{Costos}} \times 100$$

Pigmentación: Al final del ensayo experimental, en el día 39, las aves fueron sacrificadas mediante el método de desangrado con corte manual de las arterias carótidas. Posteriormente se realizó el escaldado a 54 °C durante 4 min y el desplumado manteniendo la piel intacta. La evaluación de la pigmentación de la piel de cada ave, incluyendo las del grupo de control, se realizó después del proceso de evisceración, utilizando el abanico colorimétrico de Roche para determinar la intensidad de color alcanzada.

Resultados

La **Tabla 3.3** presenta la intensidad media del color en la piel de pollos alimentados con diferentes concentraciones de tres pigmentos naturales: harina de zanahoria, harina de calabaza y harina de remolacha. Estos valores se evaluaron en una escala de 1 a 16, donde 1 representa un tono casi blanco y 16 corresponde a un tono de tomate oscuro, pasando por diversas gradaciones de amarillo y tomate.

La intensidad media del color en los pollos alimentados con harina de zanahoria (HZ) muestra un aumento progresivo a medida que se incrementa la concentración del pigmento en la dieta. En el grupo control, la intensidad media es de 1,50, mientras que en el grupo con la mayor concentración (15 %), la intensidad alcanza 5,75. Este incremento sugiere que la harina de zanahoria es efectiva en aumentar la pigmentación de la piel en pollos sin exceder los límites establecidos.

La harina de calabaza (HC) presenta un efecto menos pronunciado en la pigmentación de la piel en comparación con la harina de zanahoria y la de remolacha. La intensidad media del color se incrementa de 0,50 en el grupo control a 3,75 en el grupo con la mayor concentración (15 %). El aumento observado indica que la harina de calabaza tiene un efecto moderado en la pigmentación de la piel de los pollos, podría ser una alternativa válida, aunque no resulta tan eficaz para conseguir un tono amarillo brillante preferido.

En contraste, la harina de remolacha (HR) presenta un aumento significativo en la intensidad media del color a medida que se incrementa la concentración. En el grupo control, la intensidad es de 1,00, y en el grupo con la mayor concentración (15 %), se eleva a 9,25, lo que supera ampliamente el rango deseado de amarillo brillante, acercándose más a un color tomate. Por lo tanto, la harina de remolacha podría no ser la opción ideal para mantener el tono amarillo brillante que se busca en el mercado ecuatoriano.

Tabla 3.3. Comparación de la variabilidad en la pigmentación de la piel en pollos

Pigmentación	T1 (Control)	T2 (5 %)	T3 (10 %)	T4 (15 %)
Intensidad media del color (HZ)	1,50	2,25	4,25	5,75
Intensidad media del color (HC)	0,50	1	2,25	3,75
Intensidad media del color (HR)	1	3	7	9,25

Nota: HZ: Harina de Zanahoria, HC: Harina de Calabaza, HR: Harina de Remolacha.

Los resultados, revelaran que cada uno de los pigmentos utilizados tienen una relación positiva entre la concentración y la intensidad del color en la piel de los pollos, pero con variabilidad en la efectividad. Estos hallazgos son fundamentales para guiar la elección del tipo de pigmento según los objetivos de producción y las características deseadas en la pigmentación de los pollos.

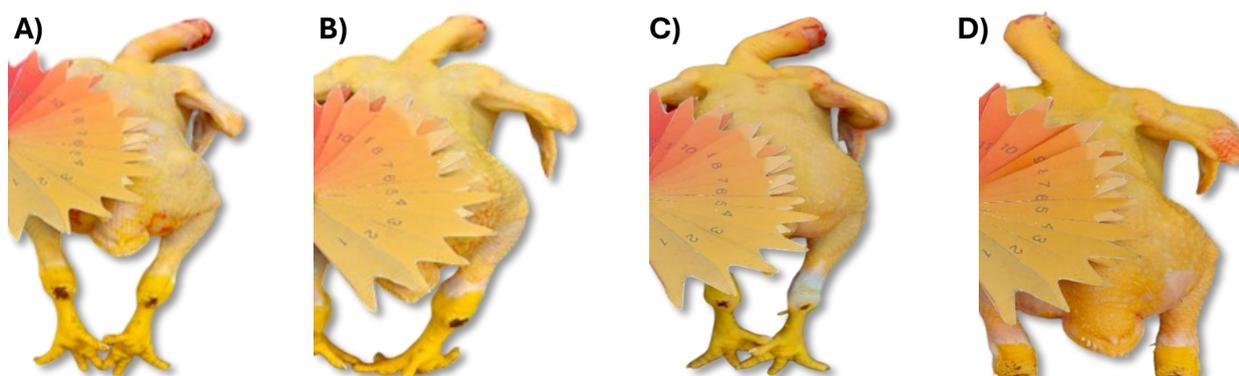
Pigmentación con Harina de Zanahoria

En el grupo de pollos sin adición de harina de vegetales (**Figura 3.2 A**), se observan manchas irregulares de color amarillo, indicando que algunas áreas absorbieron más pigmento que otras. Esto podrían deberse a una transferencia accidental de pigmentos desde otros tratamientos que sí los incluían. En los pollos alimentados con 5 % de harina de zanahoria (**Figura 3.2 B**), la intensidad sigue mostrando un tono amarillo pálido con una distribución irregular. El color amarillo es más pronunciado en ciertas partes, como la pechuga, pero aparecen parches donde el color es menos intenso o pálido, sugiriendo una distribución desigual del pigmento en la piel.

Los pollos alimentados con 10 % de harina de zanahoria (**Figura 3.2 C**), presenta un color más intenso, pasando de un amarillo pálido a uno más brillante y uniforme. La uniformidad en la coloración sugiere que la suplementación con carotenoides fue efectiva, logrando un color atractivo y consistente en la piel, lo que es deseable en el mercado de pollos con piel amarilla.

En los pollos con la concentración de 15 % de harina de zanahoria, la intensidad aumenta a 5,75, reflejando un tono amarillo brillante y uniforme (**Figura 3.2 D**). Este resultado sugiere que el suplemento de carotenoides ha sido absorbidos y distribuidos de manera eficaz, logrando una apariencia visualmente atractiva en el producto final.

Figura 3.2. Intensidad de Color con Harina de Zanahoria



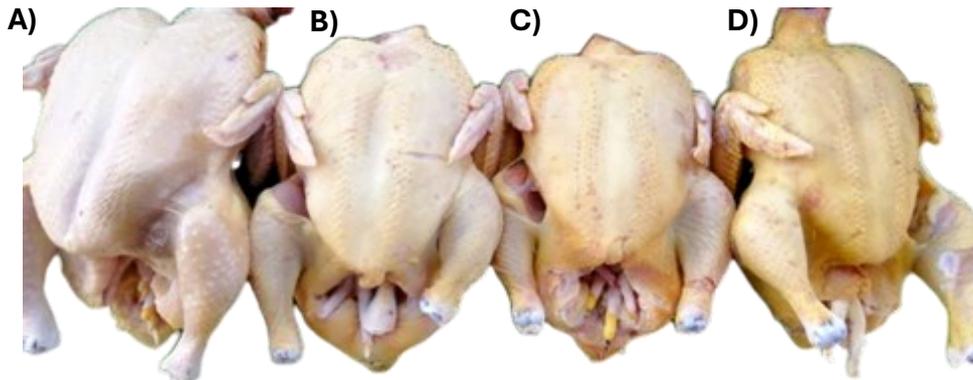
Nota: A) Control, B) Tratamiento 2 al 5 %, C) Tratamiento 3 al 10 %, D) Tratamiento 4 al 15 %.

Pigmentación con Harina de Calabaza

La harina de calabaza muestra un aumento gradual en la intensidad del color, comenzando en 0,50 en el grupo de pollos sin adición de harina de vegetales, que indica un tono extremadamente pálido, prácticamente sin pigmentación (**Figura 3.3 A**). Este resultado es esperable dado que no se ha añadido ningún tipo de pigmento que altere el color de la piel.

En los pollos alimentados con 5 % de harina de calabaza, aumenta a 1, lo que sigue siendo insuficiente para generar una coloración significativa en la piel de los pollos (**Figura 3.3 B**), la intensidad es de un tono amarillo pálido. Con un 10 % de harina de calabaza, el color comienza a ser más notable, aunque aún no alcanza a un amarillo brillante (**Figura 3.3 C**). Mientras que los pollos alimentados con 15 % de harina de calabaza la coloración es más evidente, pero sigue siendo una coloración amarilla muy tenue (**Figura 3.3 D**).

Figura 3.3. Intensidad de Color con Harina de Calabaza



Pigmentación con Harina de Remolacha

La harina de remolacha presenta un patrón diferente con valores que van desde 1.00 en el grupo de pollos sin adición de harina de vegetales, indicando un tono casi blanco (**Figura 3.4 A**). En los pollos alimentados con 5 % de harina de remolacha la intensidad media del color aumenta a 3, mostrando un tono amarillo pálido (**Figura 3.4 B**). En los pollos alimentados con 10 % de harina de remolacha la intensidad media del color cambia significativamente a 7 alcanzando la gama de amarillos intensos (**Figura 3.4 C**). En los pollos con 15 % de harina de remolacha, el color comienza a diferenciarse claramente de amarillo a un tono de tomate más intenso lo que reflejan un efecto pronunciado de la harina de remolacha en la pigmentación de la piel (**Figura 3.4 D**).

Figura 3.4. Intensidad de Color con Harina de Remolacha



El aumento gradual en la intensidad del color con la suplementación de harina de zanahoria, calabaza, y remolacha desde el control hasta el tratamiento con el 15 % de pigmento refleja una relación dosis-respuesta evidente. A mayor porcentaje de pigmento en la dieta, mayor es la intensidad del color en la piel de los pollos. Cada uno de los pigmentos muestra una capacidad diferente para intensificar la pigmentación, lo que sugiere variabilidad en su eficacia.

En el caso de la harina de zanahoria, se observa un progreso desde tonos casi blancos hasta amarillos más brillantes, sin llegar a tonalidades rojizas. La harina de calabaza sigue un patrón similar, logrando una pigmentación que permanece en el rango de amarillos pálidos. Por otro lado, la harina de remolacha presenta un efecto más pronunciado, llevando la intensidad del color desde tonos pálidos hasta los primeros grados de tomate en su concentración más alta.

Parámetros Productivos

En la **Tabla 3.4**, se comparan los parámetros productivos entre los diferentes pigmentos y el grupo control. En cuanto a la ganancia de peso (GP), se observa que los tratamientos con pigmentos naturales tienden a tener una mejora comparativa respecto al grupo control. La harina de remolacha (HR) mostró la mayor ganancia de peso en todas las concentraciones, con un incremento constante a medida que aumentó el porcentaje de adición. La harina de zanahoria (HZ) y la harina de calabaza (HC) también exhibieron mejoras, pero en menor grado. En general, los tratamientos con pigmentos naturales muestran un efecto positivo en la ganancia de peso, destacándose HR como el más efectivo, especialmente en la concentración del 5 % (3215,5 g/ave),

El consumo de alimento (CA) fue mayor en los grupos con pigmentos naturales en comparación con el grupo control, especialmente en los tratamientos con harina de remolacha, seguidos por los tratamiento con harina de calabaza. Aunque el consumo de alimento aumentó, se acompañó de una disminución en la eficiencia de la conversión alimenticia con los pigmentos naturales, especialmente con la harina de calabaza. A pesar de esta disminución, los valores de índice de conversión se mantienen dentro de un rango aceptable, lo que sugiere que los pigmentos naturales no comprometen significativamente la productividad.

En términos de mortalidad, se observa que el grupo control presenta una mortalidad más alta (12,50 %) en comparación con todos los grupos tratados, que tienen una mortalidad de 0% en la mayoría de las concentraciones. Sin embargo, la Harina de Remolacha presenta un aumento en la mortalidad en la concentración del 10% (18,75 %), lo cual podría ser una preocupación en términos de salud animal y manejo de la alimentación.

Estos resultados sugieren que la inclusión de pigmentos naturales en la dieta de los pollos puede mejorar los parámetros productivos y la salud general de los animales, manteniéndose dentro de un rango de eficiencia aceptable a pesar de los aumentos en el consumo de alimento.

Tabla 3.4. Comparación de los parámetros productivos entre pigmentos vegetales

Parámetros	Control			5%			10%			15%		
	HZ	HC	HR	HZ	HC	HR	HZ	HC	HR	HZ	HC	HR
CA (g)	3850,97	3659	4442,5	4178,53	4580	4735	4323,41	4561,25	4667,5	4350,35	4585	4907,5
GP (g)	2489,69	2543,185	3133,62	2555,13	2663,635	3215,5	2704,06	2850	3138,25	2780,94	2672,73	3067,18
ICA (g)	1,55	1,44	1,42	1,64	1,72	1,47	1,60	1,60	1,49	1,56	1,72	1,60
Mortalidad	12,50%	0,00%	5,70%	0%	0%	13,33%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Nota: CA: Conversión Alimenticia, GP: Ganancia de Peso, ICA: Índice de Conversión Alimenticia, g: gramos, HZ: Harina de Zanahoria, HC: Harina de Calabaza, HR: Harina de Remolacha.

Rentabilidad

La **Tabla 3.5** presenta los resultados del análisis de rentabilidad para cada tratamiento. Todos los tratamientos presentan valores de relación beneficio-costos (B/C) superiores a 1, lo que indica que generan ingresos que superan los costos asociados, es decir, son rentables. Para la harina de zanahoria, la relación B/C aumenta de 1,57 en el grupo control a 1,68 con una concentración del 10 % de HZ. Este incremento del 7 % en la rentabilidad significa que este nivel de concentración proporciona el mayor beneficio económico, con un retorno de 0,68 dólares por cada dólar invertido, frente a 0,57 dólares en el caso de la carne de pollo alimentada de manera convencional.

En cuanto a la Harina de Calabaza (HC), la relación B/C pasa de 1,41 en el control a 1,53 con el 10 % de HC. Este aumento del 8,5 % en la rentabilidad indica que una mayor concentración de HC proporciona el mayor beneficio económico, ofreciendo un retorno de 0,53 dólares por cada dólar invertido, frente a 0,41 dólares en el control.

En el caso de la Harina de Remolacha (HR), la relación B/C aumenta de 1,49 en el control a 1,67 con una concentración del 15 % de HR. Este incremento del 12 % en la rentabilidad se traduce en un retorno de 0,67 dólares por cada dólar invertido, comparado con 0,49 dólares en el grupo control.

Tabla 3.5. Análisis de rentabilidad

Parámetros	Control			5%			10%			15%		
	HZ	HC	HR	HZ	HC	HR	HZ	HC	HR	HZ	HC	HR
B/C (USD)	1,57	1,41	1,49	1,63	1,43	1,56	1,68	1,53	1,44	1,59	1,43	1,67

Nota: B/C: relación beneficio - costo. CA: Conversión Alimenticia, GP: Ganancia de Peso, ICA: Índice de Conversión Alimenticia, g: gramos, HZ: Harina de Zanahoria, HC: Harina de Calabaza, HR: Harina de Remolacha.

Los resultados indican que las concentraciones del 10 % de Harina de Zanahoria y 15 % de Harina de Remolacha son las más rentables, con incrementos en la relación B/C del 7% y 12%, respectivamente, en comparación con el control. Estos tratamientos proporcionan el mayor retorno económico por cada dólar invertido, lo que sugiere que pueden ser opciones preferibles para maximizar la rentabilidad. La Harina de Calabaza también muestra una mejora en la rentabilidad, pero en menor medida, destacando la importancia de elegir las concentraciones adecuadas para optimizar los beneficios económicos.

Discusión

Los resultados muestran que la sustitución parcial del alimento balanceado con pigmentos vegetales en la dieta de los pollos Cobb 500 incrementa la ingesta de alimento y mejora el peso corporal de las aves. Estos hallazgos coinciden con investigaciones anteriores, que también reportaron efectos positivos en el comportamiento alimentario y el aumento de peso al suplementar la dieta de pollos con harina de zanahoria (Ng'Ambi *et al.*, 2019), harina de calabaza (Mendoza Rivadeneira *et al.*, 2020) y harina de remolacha

La mayor ingesta de alimento podría estar relacionada con la palatabilidad de la dieta, influenciada por el sabor, la textura y la disponibilidad de nutrientes como carotenoides, vitaminas y minerales presentes en la harina de zanahoria, que estimulan el consumo. Dado que los pollos consumieron más alimento al incluir harina de zanahoria, calabaza y remolacha en su dieta, es probable que también hayan ingerido más calorías, lo que resultó en un mayor aumento de peso. Sin embargo, este incremento en el peso corporal estuvo acompañado de una disminución en la eficiencia de conversión alimenticia, posiblemente debido al aumento del contenido de fibra en la dieta, estimado en un 7,84 % para la harina de zanahoria, un 6,44 % para la de calabaza y un 14 % para la de remolacha. Una dieta con alto contenido de fibra puede reducir la digestibilidad, lo que limita la absorción de nutrientes.

La variabilidad en la eficiencia de conversión alimenticia entre los grupos experimentales podría estar influenciada por otros factores, como la interacción entre los nutrientes de la dieta, la respuesta fisiológica de los pollos a diferentes proporciones de ingredientes, y las condiciones de manejo y mantenimiento específicas de cada tratamiento.

Un aspecto destacado de este estudio es la tasa de mortalidad del 0% observada en los pollos alimentados con las dietas experimentales, a excepción del grupo alimentado con un 5% de harina de remolacha. Esto sugiere que las harinas de zanahoria, calabaza y remolacha podrían haber fortalecido el sistema inmunológico

de las aves, gracias a su contenido de antioxidantes y carotenoides, compuestos bioactivos que desempeñan un papel crucial en la protección celular al mitigar los efectos del estrés oxidativo a través de la neutralización de radicales libres y la activación de enzimas antioxidantes, mejorando así la salud general de las aves.

Además, los resultados indican que los carotenoides presentes en las harinas de zanahoria, calabaza y remolacha tienen el potencial de influir positivamente en la pigmentación de la piel de los pollos de engorde. La intensidad de la coloración de la piel está directamente relacionada con la ingesta de pigmentos carotenoides en la dieta. Las diferencias observadas pueden atribuirse a la variabilidad en la cantidad de carotenoides aportados por los residuos de zanahoria y su nivel de inclusión en la dieta.

En cuanto a la rentabilidad, aunque no se observó una reducción sustancial en los costos de alimentación, el uso de harina de zanahoria como sustituto en la dieta de los pollos de engorde podría ofrecer mayores beneficios económicos. Estos resultados son especialmente relevantes, dado que existen pocos estudios que aborden específicamente la rentabilidad asociada al uso de zanahorias como fuente de carotenoides en la alimentación avícola.

Conclusión

El análisis de la intensidad del color en la piel de los pollos alimentados con diferentes concentraciones de pigmentos naturales revela diferencias significativas en la efectividad de cada tipo de pigmento. La harina de zanahoria (HZ) mostró ser la más eficaz para intensificar el color amarillo en la piel de los pollos. A concentraciones del 10% y 15%, la harina de zanahoria logró tonos amarillos brillantes y uniformes, alcanzando una intensidad máxima de 5,75. Esto sugiere que la harina de zanahoria es una opción preferida para obtener el tono amarillo deseado en la producción avícola.

Por otro lado, la harina de calabaza (HC) mostró un incremento en la intensidad del color amarillo, pero de manera menos pronunciada en comparación con la harina de zanahoria. Las concentraciones del 10% y 15% produjeron una coloración amarilla tenue, lo que indica que la harina de calabaza es menos efectiva para lograr un amarillo brillante. En contraste, la harina de remolacha (HR) mostró un aumento notable en la intensidad del color, con una tendencia hacia tonalidades rojizas a concentraciones del 10% y 15%. Esto sugiere que la harina de remolacha podría no ser la mejor opción para aplicaciones que requieren un amarillo brillante.

En cuanto a los parámetros productivos, los tratamientos con pigmentos naturales en general mostraron mejoras en la ganancia de peso y el consumo de alimento comparado con el grupo control. La harina de remolacha destacó por su capacidad

para aumentar la ganancia de peso, especialmente a una concentración del 5%. Sin embargo, también se observó una disminución en la eficiencia de conversión alimenticia, particularmente con la harina de calabaza. Además, la mortalidad en el grupo control fue mayor en comparación con los grupos tratados, aunque se observó un aumento en la mortalidad con la harina de remolacha a una concentración del 10%. Esto sugiere que, aunque los pigmentos naturales pueden mejorar ciertos parámetros productivos, es crucial monitorear su impacto en la salud de los animales.

Desde una perspectiva económica, la harina de zanahoria y la harina de remolacha demostraron ser las más rentables, con incrementos en la relación beneficio-costo (B/C) del 7 % y 12%, respectivamente. La harina de zanahoria a una concentración del 10% y la harina de remolacha a una concentración del 15% ofrecieron el mayor retorno económico, indicando que estos tratamientos son opciones preferidas para maximizar la rentabilidad. La harina de calabaza también mostró una mejora en la rentabilidad, aunque en menor medida, destacando la importancia de seleccionar las concentraciones adecuadas para optimizar los beneficios económicos.

En resumen, la harina de zanahoria es recomendada para obtener una coloración amarilla brillante y uniforme, manteniendo una alta rentabilidad. La harina de remolacha debe usarse con cautela debido a su tendencia a producir tonos rojizos, mientras que la harina de calabaza puede ser una alternativa viable dependiendo de los objetivos específicos y las condiciones del mercado.

Guía práctica para la Pigmentación de la Piel en Pollos



La Guía Práctica para la Pigmentación de la Piel en Pollos, representa un compendio de los resultados obtenidos a lo largo de una exhaustiva investigación sobre la pigmentación de la piel de pollos, también es un paso firme hacia la aplicación de este nuevo conocimiento en beneficio de la sociedad. En un contexto donde la avicultura se erige como una fuente vital de ingresos para pequeños productores, hemos orientado nuestros esfuerzos no solo a descubrir y entender, sino a transformar esa comprensión en herramientas prácticas que puedan ser adoptadas con facilidad.

El propósito de esta guía va más allá del avance científico; está profundamente enraizado en la convicción de que el conocimiento debe ser útil y accesible. Por ello, hemos diseñado esta guía para que sirva como un recurso valioso y aplicable en el día a día de quienes dependen de la avicultura para su sustento. A través de estrategias concretas y basadas en evidencia, este capítulo pretende contribuir al desarrollo sostenible de la industria avícola, especialmente en comunidades donde cada mejora en la producción puede significar un cambio significativo en la calidad de vida.

Con la esperanza de que este trabajo no solo informe, sino que también inspire y capacite a los pequeños productores para mejorar sus prácticas, dedicamos este capítulo a todos aquellos que ven en la avicultura no solo un medio de vida, sino una oportunidad para el desarrollo y el bienestar comunitario.

Recomendaciones para la Práctica

Dosificación Óptima

Basándonos en nuestra experiencia, hemos encontrado que una suplementación equilibrada de harina de zanahoria en el alimento balanceado convencional puede mejorar significativamente la pigmentación de los pollos de engorde. En particular, recomendamos la adición de un 15 % de harina de zanahoria a la dieta de los pollos de engorde. Es decir, se debe añadir 150 gramos de harina de zanahoria por cada 1.000 gramos (1 kilogramo) de alimento balanceado. Si se piensa criar 100 pollos, entonces, la cantidad de harina necesaria para alimentarlos es 15 kilogramos.

$$\text{Cantidad de harina (kg)} = \frac{(150 \text{ gramos/pollo} \times 100 \text{ pollos})}{1000 \text{ gramos/kilogramos}}$$

Estrategia de Suplementación

Recomendamos iniciar la adición de pigmento a las dietas de las aves a partir de la cuarta semana del ciclo de producción. Iniciar la suplementación en este punto permite que los pigmentos se acumulen en los tejidos durante las semanas finales del ciclo de producción, optimizando la pigmentación visible en el producto final. Esto asegura que los pigmentos tengan tiempo suficiente para ser absorbidos y depositados en los tejidos de manera efectiva, alcanzando una pigmentación adecuada sin requerir una suplementación prolongada que podría ser menos eficiente.

Para maximizar el uso de los recursos disponibles, es recomendable agregar el pigmento solo en las etapas finales, evitando el exceso de suplementación durante las primeras fases del crecimiento. Esta estrategia contribuye a una gestión más eficiente de los costos de alimentación y pigmentación. Además, permite un monitoreo más preciso de la pigmentación, ya que se puede ajustar la cantidad de pigmento añadido en función de la respuesta de los pollos durante las semanas finales del ciclo, facilitando así la evaluación del impacto de la suplementación en la calidad del producto final.

Preparación y Aplicación de la Mezcla

Es crucial preparar la mezcla de harina de zanahoria de manera correcta para garantizar su eficacia. Se recomienda mezclar la harina de zanahoria con el alimento balanceado justo antes de su suministro a las aves. Esto asegura que el pigmento se

mantenga homogéneamente distribuido y evita la pérdida de eficacia que podría ocurrir si se mezcla con antelación y se almacena por períodos prolongados. Además, es importante que el proceso de mezcla se realice en condiciones higiénicas para evitar la contaminación del alimento. Utilizar equipos limpios y bien mantenidos, y asegurarse de que la harina de zanahoria esté bien conservada hasta el momento de la mezcla, son prácticas recomendables.

Implementación y Seguimiento

Para llevar a cabo esta recomendación de manera efectiva, se sugiere realizar evaluaciones periódicas de la pigmentación de las aves para asegurar que se está logrando la intensidad deseada y ajustar la suplementación si es necesario. Así como mantener registros detallados sobre la cantidad de harina de zanahoria añadida y los resultados observados para ajustar las prácticas en futuros ciclos de producción.

Precauciones

En caso de observar cualquier reacción adversa en las aves tras la suplementación con harina de zanahoria, como cambios en el comportamiento, problemas digestivos o cualquier otra anomalía, se debe suspender inmediatamente el uso del suplemento. Es importante consultar a un veterinario para evaluar la situación y determinar las medidas correctivas apropiadas.

Obtención y Procesamiento de Pigmentos

En esta sección, se describen técnicas sencillas y prácticas para obtener y procesar pigmentos naturales, utilizando herramientas y métodos que están al alcance de pequeños productores avícolas.

Figura 4.1. Diagrama de Flujo en la Elaboración de Harina de Vegetales



Nota: Este diagrama de flujo proporciona una guía visual simple y efectiva para que los pequeños productores sigan cada paso del proceso de obtención y procesamiento de pigmentos naturales.

Adquisición de la Materia Prima

La adquisición de la materia prima para la obtención de pigmentos naturales puede realizarse utilizando zanahorias provenientes del mercado o de los residuos generados por los empacadores. La elección de estos materiales permite aprovechar productos que de otro modo serían desechados, contribuyendo a la reducción de desperdicios y a la sostenibilidad del proceso.

Selección

Asegurarse de que los residuos estén limpios y libres de contaminantes. Estos pueden incluir partes no comerciales o sobrantes del procesamiento que aún contienen concentraciones de pigmentos. Buscar zanahorias que presenten un color intenso y una buena textura. Evitar zanahorias con signos de deterioro, moho o daños significativos.

Pesado

Determinar la cantidad necesaria de materia prima para el procesamiento. Fórmula para calcular la cantidad de zanahoria fresca requerida para alimentar a 100 pollos:

$$\text{Cantidad de zanahoria} = \frac{\text{Cantidad de harina requerida}}{\text{Rendimiento}}$$

Entonces, con un rendimiento del 13,5 % se necesitan aproximadamente 111,11 kilogramos de zanahoria fresca para obtener 15 kilogramos de harina de zanahoria, que a su vez se usará para alimentar a 100 pollos.

Lavado

El lavado de vegetales es crítico para asegurar que estén limpios y listos para el procesamiento. Primero, prepara un área de lavado y sumerge los vegetales en agua clorada al 0.1% para eliminar tierra y residuos adheridos. Enjuaga los vegetales bajo un flujo constante de agua limpia para eliminar residuos de cloro. Asegúrate de secarlos completamente usando paños limpios o permitiéndolos secar al aire. Si no procesas de inmediato, almacénalos en un lugar fresco y seco para prevenir la humedad que pueda causar moho.

Cortado

Cortar los vegetales en rodajas finas o trozos pequeños (aproximadamente 2 mm) para facilitar el secado, con un cortador manual como un cuchillo o rallador.

Secado

Deshidratar los vegetales, para pequeñas cantidades, se recomienda el secado al sol o en un horno de cocina.

Secado al sol. El secado al sol es un método tradicional que resulta económico y efectivo para deshidratar vegetales, especialmente en climas cálidos y secos. Este proceso es ideal para conservar los pigmentos naturales, ya que la exposición directa al sol ayuda a mantener sus propiedades.

Para iniciar, coloca los vegetales cortados en bandejas o estantes con buena exposición al sol y ventilación. Extiende las rodajas en una sola capa para asegurar un secado uniforme. El tiempo de secado puede variar entre 1 y 3 días, dependiendo del clima. Protege los vegetales con una tela fina para evitar insectos y, en caso de lluvias, traslada los vegetales a un área cubierta. Los vegetales están listos cuando están completamente secos y quebradizos.

Horno de cocina. Este es una alternativa rápida para deshidratar vegetales. Primero, precalienta el horno a una temperatura baja, entre 45 °C y 65 °C (110 °F a 150 °F). Coloca los vegetales cortados en una bandeja para hornear en una sola capa. Utiliza una bandeja con rejilla si es posible, para mejorar la circulación del aire. Deja la puerta del horno ligeramente abierta para permitir la salida de humedad. El tiempo de secado suele ser de 8 a 24 horas, dependiendo del grosor de las rodajas y la temperatura. Revisa los vegetales para evitar que se quemen o se sequen en exceso. Los vegetales están listos cuando están completamente secos y quebradizos. Una vez secos, deja enfriar los vegetales

Molienda

Este proceso consiste en triturar los vegetales secos hasta obtener un polvo fino, debe realizarse con cuidado para asegurar una textura homogénea que permita una mejor integración en productos finales.

Para pequeñas cantidades, puedes utilizar un molino manual, que es económico y no requiere electricidad. Otra opción conveniente es el procesador de alimentos, que permite triturar los vegetales secos de manera rápida y eficiente. Para cantidades muy pequeñas, un mortero y mano de mortero son útiles. Batidoras de alta potencia y molinillos de café también pueden ser opciones prácticas para pequeños lotes, proporcionando una molienda rápida y uniforme.

Tamizado

Después de moler los vegetales, tamiza el polvo utilizando un tamiz o colador de malla fina para separar las partículas grandes y obtener una textura homogénea.

Almacenado

Guarda el polvo en frascos herméticos o bolsas selladas para protegerlo de la humedad y mantener su frescura. Almacénalo en un lugar fresco y seco para prolongar su vida útil.

Referencias bibliográficas

- Abbas, A., Iqbal, Z., Abbas, R. Z., Khan, M. K., Khan, J. A., Mahmood, M. S., & Saleemi, M. K. (2017). In vivo anticoccidial effects of Beta vulgaris (sugar beet) in broiler chickens. *Microbial pathogenesis*, 111, 139-144. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.07.052>
- Abdo, E., El-Sohaimy, S., Shaltout, O., Abdalla, A., & Zeitoun, A. (2020). Nutritional evaluation of beetroots (Beta vulgaris L.) and its potential application in a functional beverage. *Plants*, 9(12), 1752. <https://doi.org/10.3390/plants9121752>
- Acharya, J., Gautam, S., Neupane, P., & Niroula, A. (2021). Pigments, ascorbic acid, and total polyphenols content and antioxidant capacities of beet (Beta vulgaris) microgreens during growth. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 1175-1186. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1955924>
- Achilonu, M. C., Nwafor, I. C., Umesiobi, D. O., & Sedibe, M. M. (2018). Biochemical proximates of pumpkin (Cucurbitaceae spp.) and their beneficial effects on the general well-being of poultry species. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 102(1), 5-16. <https://doi.org/10.1111/jpn.12654>
- Ahmad, T., Cawood, M., Iqbal, Q., Ariño, A., Batool, A., Tariq, R. M. S., ... & Akhtar, S. (2019). Phytochemicals in Daucus carota and their health benefits. *Foods*, 8(9), 424. <https://doi.org/10.3390/foods8090424>
- Al-Waeli, S. K., Alasadi, M. H., & Abbas, R. J. (2021, November). Effect of supplementing beetroot (Beta vulgaris rubra) powder and its aqueous extract on productive performance of growing geese. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 923, No. 1, p. 012028). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/923/1/012028>
- Anand, R., Mohan, L., & Bharadvaja, N. (2022). Disease prevention and treatment using β -carotene: the ultimate provitamin A. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 32(4), 491-501. <https://doi.org/10.1007/s43450-022-00262-w>
- Andersson, L., Bed'hom, B., Chuong, C. M., Inaba, M., Okimoto, R., & Tixier-Boichard, M. (2020). The genetic basis for pigmentation phenotypes in poultry. In *Advances in poultry genetics and genomics* (pp. 67-106). Burleigh Dodds Science Publishing.
- Aziz, E., Batool, R., Akhtar, W., Rehman, S., Shahzad, T., Malik, A., ... & Arif, S. A. (2020). Xanthophyll: Health benefits and therapeutic insights. *Life sciences*, 240, 117104. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2019.117104>
- Babarykin, D., Smirnova, G., Pundinsh, I., Vasiljeva, S., Krumina, G., & Agejchenko, V. (2019). Red beet (Beta vulgaris) impact on human health. *Journal of biosciences and medicines*, 7(3), 61-79. <https://doi.org/10.4236/jbm.2019.73007>

- Barbut, S., & Leishman, E. M. (2022). Quality and processability of modern poultry meat. *Animals*, *12*(20), 2766. <https://doi.org/10.3390/ani12202766>
- Basiouni, S., Tellez-Isaias, G., Latorre, J. D., Graham, B. D., Petrone-Garcia, V. M., El-Seedi, H. R., ... & Shehata, A. A. (2023). Anti-Inflammatory and antioxidative phytogetic substances against secret killers in poultry: Current Status and Prospects. *Veterinary sciences*, *10*(1), 55. <https://doi.org/10.3390/vetsci10010055>
- Batool, M., Ranjha, M. M. A. N., Roobab, U., Manzoor, M. F., Farooq, U., Nadeem, H. R., ... & Ibrahim, S. A. (2022). Nutritional value, phytochemical potential, and therapeutic benefits of pumpkin (*Cucurbita* sp.). *Plants*, *11*(11), 1394. <https://doi.org/10.3390/plants11111394>
- Belwal, P., Ganesh, D., & Yadav, D. C. (2023). Exploring the Health Benefits and Nutrient-Rich Qualities of Antioxidant Pigments in Avian Species: A Comprehensive Review. *Revista Electronica de Veterinaria*, *24*(3), 447-454. <https://www.veterinaria.org/index.php/REDVET/article/view/471>
- Bhandari, S. R., Choi, C. S., Rhee, J., Shin, Y. K., Song, J. W., Kim, S. H., ... & Lee, J. G. (2022). Influence of root color and tissue on phytochemical contents and antioxidant activities in carrot genotypes. *Foods*, *12*(1), 120. <https://doi.org/10.3390/foods12010120>
- Bittencourt, L. C., & Menten, J. F. M. (2023). Carotenoids Blood Level as Biomarker for Intestinal Functionality in Broiler Chicken Trials: A Review. *Asian J. Anim. Vet. Adv*, *18*, 108-112. <https://doi.org/10.3923/ajava.2023.108.112>
- Celedón, R. S., & Díaz, L. B. (2021). Natural pigments of bacterial origin and their possible biomedical applications. *Microorganisms*, *9*(4), 739. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9040739>
- Chevalier, W., Moussa, S. A., Ottoni, M. M. N., Dubois-Laurent, C., Huet, S., Aubert, C., ... & Geoffriau, E. (2022). Evaluation of pedoclimatic factors and cultural practices effects on carotenoid and sugar content in carrot root. *European Journal of Agronomy*, *140*, 126577. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126577>
- Clementz, A., Torresi, P. A., Molli, J. S., Cardell, D., Mammarella, E., & Yori, J. C. (2019). Novel method for valorization of by-products from carrot discards. *Lwt*, *100*, 374-380. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.085>
- Cortez, R., Luna-Vital, D. A., Margulis, D., & Gonzalez de Mejia, E. (2017). Natural pigments: stabilization methods of anthocyanins for food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *16*(1), 180-198. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12244>
- Csernus, B., Biró, S., Babinszky, L., Komlósi, I., Jávör, A., Stündl, L., ... & Czeglédi, L. (2020). Effect of carotenoids, oligosaccharides and anthocyanins on growth performance, immunological parameters and intestinal morphology in broiler chickens

challenged with *Escherichia coli* lipopolysaccharide. *Animals*, 10(2), 347. <https://doi.org/10.3390/ani10020347>

Csernus, B., Biró, S., Babinszky, L., Stündl, L., Remenyik, J., Pesti-Asbóth, G., ... & Czeglédi, L. (2022). The effect of β -glucan, carotenoids, oligosaccharides and anthocyanins on bacteria groups of excreta in broiler chickens. *Acta Agraria Debreceniensis*, (1), 15-20. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/10639>

Dabai, S. A., Bello, S., & Dabai, J. S. (2021). Growth performance and carcass characteristics of finisher broiler chickens served carrot leaf extract as a supplementary source of vitamins and minerals. *Nigerian Journal of Animal Science*, 23(1), 144-149. <https://www.ajol.info/index.php/tjas/article/view/212020>

Dansou, D. M., Zhang, H., Yu, Y., Wang, H., Tang, C., Zhao, Q., ... & Zhang, J. (2023). Carotenoid enrichment in eggs: from biochemistry perspective. *Animal Nutrition*. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.05.012>

Dansou, D. M., Zhang, H., Yu, Y., Wang, H., Tang, C., Zhao, Q., ... & Zhang, J. (2023). Carotenoid enrichment in eggs: from biochemistry perspective. *Animal Nutrition*. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.05.012>

Deis, L., Quiroga, A. M., & De Rosas, M. I. (2021). Coloured compounds in fruits and vegetables and health. *Psychiatry and Neuroscience Update: From Epistemology to Clinical Psychiatry–Vol. IV*, 343-358. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.05.012>

Demmig-Adams, B., López-Pozo, M., Stewart, J. J., & Adams III, W. W. (2020). Zeaxanthin and lutein: Photoprotectors, anti-inflammatories, and brain food. *Molecules*, 25(16), 3607. <https://doi.org/10.3390/molecules25163607>

Domínguez, R., Munekata, P. E., Pateiro, M., Maggolino, A., Bohrer, B., & Lorenzo, J. M. (2020). Red beetroot. A potential source of natural additives for the meat industry. *Applied Sciences*, 10(23), 8340. <https://doi.org/10.3390/app10238340>

El-Saadany, A. S., El-Barbary, A. M., Shreif, E. Y., Elkomy, A., Khalifah, A. M., & El-Sabrou, K. (2022). Pumpkin and garden cress seed oils as feed additives to improve the physiological and productive traits of laying hens. *Italian journal of animal science*, 21(1), 1047-1057. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2022.2090288>

El-Sabrou, K., Khalifah, A., & Mishra, B. (2023). Application of botanical products as nutraceutical feed additives for improving poultry health and production. *Veterinary world*, 16(2), 369. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.369-379>

Ezzat, S. M., Adel, R., & Abdel-Sattar, E. (2022). Pumpkin bio-wastes as source of functional ingredients. In *Mediterranean fruits bio-wastes: chemistry, functionality and technological applications* (pp. 667-696). Cham: Springer International Publishing.

- Fatima, I., Munir, M., Qureshi, R., Hanif, U., Gulzar, N., & Sheikh, A. A. (2023). Advanced methods of algal pigments extraction: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2216782>
- Feng, Q., Xi-Lin, H., Guang-Long, W., Zhi-Sheng, X., Guo-Fei, T., Li, T., ... & Ai-Sheng, X. (2019). Advances in research on the carrot, an important root vegetable in the Apiaceae family. *Horticulture Research*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/s41438-019-0150-6>
- Flórez Delgado, D. F., & Cobos Lizarazo, K. L. (2021). Análisis de la inclusión de Cucurbita moschata sobre los parámetros productivos en pollos de engorde. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(3). <https://doi.org/10.21930/rcta.vol22-num3>
- Guerra, L., Ureta, M., Romanini, D., Woitovich, N., Gómez-Zavaglia, A., & Clementz, A. (2023). Enzymatic synthesis of fructooligosaccharides: From carrot discards to prebiotic juice. *Food Research International*, 170, 112991. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112991>
- Ikram, A., Rasheed, A., Ahmad Khan, A., Khan, R., Ahmad, M., Bashir, R., & Hassan Mohamed, M. (2024). Exploring the health benefits and utility of carrots and carrot pomace: a systematic review. *International Journal of Food Properties*, 27(1), 180-193. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2301569>
- Jácome-Gómez, J. R., Valencia-Enríquez, X. P., Salcán-Sánchez, E. J., Martínez Sotelo, M. C., y de La Cruz Chicaiza, D. L. (2024). *Daucus carota* L. como fuente de pigmento natural y su efecto sobre los parámetros zootécnicos en pollos de engorde Cobb 500. *La Técnica*, 14(1), 29-36. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i1.6219>
- Katiyo, W., Coorey, R., Buys, E. M., & De Kock, H. L. (2020). Consumers' perceptions of intrinsic and extrinsic attributes as indicators of safety and quality of chicken meat: Actionable information for public health authorities and the chicken industry. *Journal of Food Science*, 85(6), 1845-1855. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15125>
- Khan, R. U., Khan, A., Naz, S., Ullah, Q., Puvača, N., Laudadio, V., ... & Tufarelli, V. (2023). Pros and cons of dietary vitamin a and its precursors in poultry health and production: a comprehensive review. *Antioxidants*, 12(5), 1131. <https://doi.org/10.3390/antiox12051131>
- Khan, S. (2019). Utilization carrot pulp as corn replacement in the broiler diet. *IOSR-JAVS*, 12, 72-4.
- Kikusato, M. (2021). Phytobiotics to improve health and production of broiler chickens: functions beyond the antioxidant activity. *Animal Bioscience*, 34(3), 345. <https://doi.org/10.5713%2Fab.20.0842>
- Kulczyński, B., & Gramza-Michałowska, A. (2019). The profile of carotenoids and other bioactive molecules in various pumpkin fruits (*Cucurbita maxima* Duchesne) cultivars. *Molecules*, 24(18), 3212. <https://doi.org/10.3390/molecules24183212>

- Lu, W., Shi, Y., Wang, R., Su, D., Tang, M., Liu, Y., & Li, Z. (2021). Antioxidant activity and healthy benefits of natural pigments in fruits: A review. *International journal of molecular sciences*, 22(9), 4945. <https://doi.org/10.3390/ijms22094945>
- Marounek, M., & Pebriansyah, A. (2018). Use of carotenoids in feed mixtures for poultry: a review. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 51(3), 107-111. <https://doi.org/10.2478/ats-2018-0011>
- Meléndez-Martínez, A. J., Mandić, A. I., Bantis, F., Böhm, V., Borge, G. I. A., Brnčić, M., ... & O'Brien, N. (2022). A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: Status quo, applications, patents, and research needs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(8), 1999-2049. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867959>
- Meléndez-Martínez, A. J., Esquivel, P., & Rodríguez-Amaya, D. B. (2023). Comprehensive review on carotenoid composition: Transformations during processing and storage of foods. *Food Research International*, 169, 112773. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112773>
- Mendoza Rivadeneira, F. A., Vargas Zambrano, P. A., Vivas Arturo, W. F., Valencia Llanos, N. F., Verduga López, C. D., & Dueñas Rivadeneira, A. A. (2020). Partial substitution of corn for wholegrain Cucurbita moschata flour and its effect on the productive variables of Cobb 500 chickens. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(2). https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num2_art:1298
- Meza-Quintero, M., Hinojosa-Quintero, F., & Vega-Mandón, A. (2016). Uso de harina de remolacha Beta vulgaris como aditivo en la dieta para la pigmentación de la yema de huevo y evaluación de parámetros productivos. *Avances de investigación en medicina veterinaria y producción animal*, 113.
- Molina, A. K., Corrêa, R. C., Prieto, M. A., Pereira, C., & Barros, L. (2023). Bioactive natural pigments' extraction, isolation, and stability in food applications. *Molecules*, 28(3), 1200. <https://doi.org/10.3390/molecules28031200>
- Motegaonkar, S., Shankar, A., Tazeen, H., Gunjal, M., & Payyanad, S. (2024). A comprehensive review on carrot (Daucus carota L.): the effect of different drying methods on nutritional properties and its processing as value-added foods. *Sustainable Food Technology*. <https://doi.org/10.1039/D3FB00162H>
- Nabi, F., Arain, M. A., Rajput, N., Alagawany, M., Soomro, J., Umer, M., ... & 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>
- Ng'Ambi, J. W., Mokgope, P. K., Brown, D., & Manyelo, T. G. (2019). Effect of dietary carrot meal supplementation on productivity and carcass characteristics of Arbor acre broiler chickens aged 22 to 42 days. *Applied Ecology & Environmental Research*, 17(5). https://doi.org/10.15666/aeer/1705_1233712346

- Ninčević Grassino, A., Rimac Brnčić, S., Badanjak Sabolović, M., Šic Žlabur, J., Marović, R., & Brnčić, M. (2023). Carotenoid content and profiles of pumpkin products and by-products. *Molecules*, *28*(2), 858. <https://doi.org/10.3390/molecules28020858>
- Nogareda, C., Moreno, J. A., Angulo, E., Sandmann, G., Portero, M., Capell, T., ... & Christou, P. (2016). Carotenoid-enriched transgenic corn delivers bioavailable carotenoids to poultry and protects them against coccidiosis. *Plant Biotechnology Journal*, *14*(1), 160-168. <https://doi.org/10.1111/pbi.12369>
- Paparella, A., Kongala, P. R., Serio, A., Rossi, C., Shaltiel-Harpaza, L., Husaini, A. M., & Ibdah, M. (2024). Challenges and Opportunities in the Sustainable Improvement of Carrot Production. *Plants*, *13*(15). <https://doi.org/10.3390/plants13152092>
- Partyka, A., & Nizański, W. (2021). Supplementation of avian semen extenders with antioxidants to improve semen quality—Is it an effective strategy?. *Antioxidants*, *10*(12), 1927. <https://doi.org/10.3390/antiox10121927>
- Perrin, F., Hartmann, L., Dubois-Laurent, C., Welsch, R., Huet, S., Hamama, L., ... & Geoffriau, E. (2017). Carotenoid gene expression explains the difference of carotenoid accumulation in carrot root tissues. *Planta*, *245*, 737-747. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2637-9>
- Prasetyo, A. K., Sudjarwo, E., & Hamiyanti, A. A. Effect of the Addition Red Beetroot Powder (*Beta vulgaris* L. Var. *Rubra* L) as a Feed Additive in Feed on Production Performance, Egg Yolk Cholesterol and Blood Profile of Laying Hens. <https://doi.org/10.47191/ijcsrr/V7-i7-77>
- Riley, W. W., Nickerson, J. G., Mogg, T. J., & Burton, G. W. (2023). Oxidized β -carotene is a novel phytochemical immune modulator that supports animal health and performance for antibiotic-free production. *Animals*, *13*(2), 289. <https://doi.org/10.3390/ani13020289>
- Rivera-Madrid, R., Carballo-Uicab, V. M., Cárdenas-Conejo, Y., Aguilar-Espinosa, M., & Siva, R. (2020). Overview of carotenoids and beneficial effects on human health. In *Carotenoids: properties, processing and applications* (pp. 1-40). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817067-0.00001-4>
- Rodríguez-Mena, A., Ochoa-Martínez, L. A., González-Herrera, S. M., Rutiaga-Quiñones, O. M., González-Laredo, R. F., & Olmedilla-Alonso, B. (2023). Natural pigments of plant origin: Classification, extraction and application in foods. *Food Chemistry*, *398*, 133908.
- Sharma, M., & Bhat, R. (2021). Extraction of carotenoids from pumpkin peel and pulp: Comparison between innovative green extraction technologies (ultrasonic and microwave-assisted extractions using corn oil). *Foods*, *10*(4), 787. <https://doi.org/10.3390/foods10040787>
- Silondae, H., Polakitan, D., Paat, P. C., Kairupan, A. N., Layuk, P., Lintang, M., ... & Elizabeth, R. (2023). The effects of carrot (*Daucus carota* L.) waste juice on the

- performances of native chicken in North Sulawesi, Indonesia. *Open Agriculture*, 8(1), 20220173. <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0173>
- Singh, M. N., Srivastava, R., & Yadav, I. (2021). Study of different varieties of carrot and its benefits for human health: a review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(1), 1293-1299. <https://doi.org/10.22271/phyto.2021.v10.i1r.13529>
- Singh, P., & Brar, R. K. (2019). Tracing the roots of avian fauna hues: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(4S), 60-63. <https://www.phytojournal.com/archives/2019/vol8issue4S/PartB/SP-8-4-24-644.pdf>
- Skalicky, M., Kubes, J., Shokoofeh, H., Tahjib-Ul-Arif, M., Vachova, P., & Hejnak, V. (2020). Betacyanins and betaxanthins in cultivated varieties of *Beta vulgaris* L. compared to weed beets. *Molecules*, 25(22), 5395. <https://doi.org/10.3390/molecules25225395>
- Sousa, C. (2022). Anthocyanins, carotenoids and chlorophylls in edible plant leaves unveiled by tandem mass spectrometry. *Foods*, 11(13), 1924. <https://doi.org/10.3390/foods11131924>
- Spooner, D. M. (2019). *Daucus*: Taxonomy, phylogeny, distribution. *The carrot genome*, 9-26. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-03389-7_2
- Su, Y. C., Huang, P. L., & Do, Y. Y. (2023). Genetic transformation and expression of hemagglutinin gene from avian influenza virus in carrot (*Daucus carota*). *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 32(3), 550-559. <https://doi.org/10.1007/s13562-023-00840-6>
- Sun, T., Rao, S., Zhou, X., & Li, L. (2022). Plant carotenoids: recent advances and future perspectives. *Molecular Horticulture*, 2(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s43897-022-00023-2>
- Tamayo Mera, A. A. (2022). *Suplementación de harina de remolacha (beta vulgaris l.) efecto en la pigmentación y otros parámetros productivos en pollos de engorde* (Doctoral dissertation).
- Thomas, S. E., & Johnson, E. J. (2018). Xanthophylls. *Advances in Nutrition*, 9(2), 160-162. <https://doi.org/10.1093/advances/nmx005>
- Titcomb, T. J., Kaeppler, M. S., Cook, M. E., Simon, P. W., & Tanumihardjo, S. A. (2019). Carrot leaves improve color and xanthophyll content of egg yolk in laying hens but are not as effective as commercially available marigold fortificant. *Poultry Science*, 98(10), 5208-5213. <https://doi.org/10.3382/ps/pez257>
- Tolnai, E., Fauszt, P., Fidler, G., Pesti-Asboth, G., Szilagyi, E., Stigel, A., ... & Pahlócsék, M. (2021). Nutraceuticals induced changes in the broiler gastrointestinal tract microbiota. *MSystems*, 6(2), 10-1128. <https://doi.org/10.1128/msystems.01124-20>

- Ubaque, C. C., Orozco, L. V., Ortiz, S., Piedad Valdés, M., & Vallejo, F. A. (2015). Sustitución del maíz por harina integral de zapallo en la nutrición de pollos de engorde. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, *18*(1), 137-146. <https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n1.2015.462>
- Ürüşan, H., Erhan, M. K., & Bölükbaşı, S. C. (2018). Effect of cold-press carrot seed oil on the performance, carcass characteristics, and shelf life of broiler chickens. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, *28*(6). <http://www.thejaps.org.pk/docs/v-28-06/17.pdf>
- Varshney, K., & Mishra, K. (2022). An analysis of health benefits of carrot. *International Journal of Innovative Research in Engineering & Management*, *9*(1), 211-214. <https://doi.org/10.55524/ijirem.2022.9.1.40>
- Vasiljeva, S., Smirnova, G., Basova, N., & Babarykin, D. (2018). Cadmium-induced oxidative damage and protective action of fractioned red beet (*Beta vulgaris*) root juice in chickens. *Agronomy Research*, *16*(S2), 1517-1526. <https://doi.org/10.15159/AR.18.117>
- Vlaicu, P. A., & Panaite, T. D. (2022). Effect of dietary pumpkin (*Cucurbita moschata*) seed meal on layer performance and egg quality characteristics. *Animal bioscience*, *35*(2), 236. <https://doi.org/10.5713%2Fab.21.0044>
- Wady, N. D., & Jassem, J. M. (2019). Effect of Adding Different Levels of Water Extract of the Pumpkin Leaves and Pumpkin Seeds Powder (*Cucurbita moschata*) in Some of The Productive Characteristics of Broiler. *Bas. J. Vet. Res*, *18*(2-343), 328. <https://faculty.uobasrah.edu.iq/uploads/publications/1596567190.pdf>
- Wafar, R., Hannison, M., Abdullahi, U., & Makinta, A. (2017). Effect of Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seed meal on the performance and carcass characteristics of broiler chickens. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, *2*(3), 1-7. <https://doi.org/10.9734/AJAAR/2017/35742>
- Wang, S., Xu, F., & Zhan, J. (2017). Introduction of natural pigments from microorganisms. *Bio-pigmentation and Biotechnological Implementations*, 1-22. <https://doi.org/10.1002/9781119166191.ch1>
- Wu, J., Lin, Z., Chen, G., Luo, Q., Nie, Q., Zhang, X., & Luo, W. (2021). Characterization of chicken skin yellowness and exploration of genes involved in skin yellowness deposition in chicken. *Frontiers in Physiology*, *12*, 585089. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.585089>
- Yunitasari, F., Jayanegara, A., & Ulupi, N. (2023). Performance, egg quality, and immunity of laying hens due to natural carotenoid supplementation: A meta-analysis. *Food Science of Animal Resources*, *43*(2), 282. <https://doi.org/10.5851%2Fkosfa.2022.e76>



erevna

CIENCIA EDICIONES

ISBN: 978-9942-7297-0-5



9 789942 729705