Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Medicina Veterinaria
Unidad de Posgrado

Rendimiento productivo y morfometría intestinal de pollos de engorde suplementado con espirulina (*Arthrospira platensis*)

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Producción y Reproducción Animal

AUTOR

Nadia Edith FUENTES NEIRA

ASESOR

Dr. Fernando Demetrio CARCELÉN CÁCERES

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Fuentes N. Rendimiento productivo y morfometría intestinal de pollos de engorde suplementado con espirulina (*Arthrospira platensis*) [Tesis de maestría. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Medicina Veterinaria, Unidad de Posgrado; 2025.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Nadia Edith Fuentes Neira
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10501310
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-5206-0377
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Fernando Demetrio Carcelén Cáceres
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	07933087
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-1299-1679
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	María Elith Vásquez Cachay
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09945245
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Miguel Ángel Ara Gómez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	00064196
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Luis Alfredo Nakandakari Arashiro
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	42817084
Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	Rosa Isabel González Veliz
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10300467

Datos de investigación	
Línea de investigación	B.4.2. PRODUCCIÓN Y ECONOMÍA PECUARIA B.4.2.1. Producción Avícola y Especies Menores B.4.2.4. Bioquímica, nutrición y alimentación animal
Grupo de investigación	Grupo de Investigación Nutrición y alimentación animal (GINAA)
Agencia de financiamiento	Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Vicerrectorado de Investigación y Posgrado. Programa de Proyectos de Investigación para Grupos de Investigación con financiamiento. A20081801-PCONFIGI Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Vicerrectorado de Investigación y Posgrado. Programa de Promoción de Tesis de Posgrado. A20080035-PTPMAEST.
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Facultad de Medicina Veterinaria – UNMSM País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: San Borja Centro poblado: No aplica Urbanización: No aplica Manzana y lote: No aplica Calle: No aplica Latitud: 12°04'54,3" Longitud: 76°59'13,8"
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Febrero 2020 - marzo 2021
URL de disciplinas OCDE	Ciencia veterinaria https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#4.03.01

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN PRODUCCIÓN Y REPRODUCCIÓN ANIMAL

En la Sala de Posgrado de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, siendo las 11:00 horas del día lunes 06 de octubre del 2025, el Jurado Examinador de Tesis de Grado de Magíster, presidido por la Dra. María Elith Vásquez Cachay y conformado por los siguientes miembros docentes: Dr. Miguel Ángel Ara Gómez, Mg. Rosa Isabel González Veliz, Mg. Luis Alfredo Nakandakari Arashiro y Dr. Fernando Demetrio Carcelén Cáceres (asesor), se dio inicio a la sustentación oral y pública de la Tesis titulada:

"Rendimiento productivo y morfometría intestinal de pollos de engorde suplementado con espirulina (*Arthrospira platensis*)", presentado por la Bachiller en Medicina Veterinaria:

NADIA EDITH FUENTES NEIRA

Quien sustentó la Tesis para obtener el Grado Académico de Magíster en Producción y Reproducción Animal y absolvió satisfactoriamente las preguntas y objeciones formuladas por el jurado y practicada la votación obtuvo la calificación de:

_____BUENO, (16) DIECISÉIS _____

A continuación, el Jurado por intermedio de su Presidente recomendó a la Unidad de Posgrado de la Facultad de Medicina Veterinaria, proponga el otorgamiento del Grado Académico de Magíster en Producción y Reproducción Animal, a la Bachiller Nadia Edith Fuentes Neira.

Siendo las 12:47 horas del lunes 06 de octubre de 2025, se dio por concluido el acto académico, suscribiéndose la presente Acta.

…….. Dra. María Elith Vásquez Cachay (P.P.D.E.) Presidente	…….. Dr. Miguel Ángel Ara Gómez (P.P.D.E.) Miembro
…….. Mg. Rosa Isabel González Veliz (P.A.D.E.) Miembro	…….. Mg. Luis Alfredo Nakandakari Arashiro Miembro
…….. Dr. Fernando Demetrio Carcelén Cáceres (P.P.D.E.) Miembro asesor	…….. Dr. Cesar Miguel Gavidia Chucán (P.P.D.E.) Director de la Unidad de Posgrado

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Fernando Demetrio Carcelén Cáceres en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen N°025-UPG-FMV-2025 de la tesis, cuyo título es "**Rendimiento productivo y morfometría intestinal de pollos de engorde suplementado con espirulina (*Arthrospira platensis*)**", presentado por la bachiller Nadia Edith Fuentes Neira para optar el grado de Magister en Producción y Reproducción Animal.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 7% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado/ título/ especialidad correspondiente.

Lima, 13 de noviembre de 2025

UNMSM
Firmado digitalmente por CARCELEN CACERES Fernando Demetrio FAU 20148092282 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 13.11.2025 14:51:22 -05:00

Firma del Asesor:

Nombres y Apellidos del asesor: Fernando Demetrio Carcelén Cáceres

DNI: 07933087

Dedicatoria

A mis queridos padres, Javier y Julia, por enseñarme las cosas correctas de la vida.

A mi hermana Gaby por tenerme siempre presente en su vida.

A mis tíos, Carmela y Alberto por apoyarme en todo momento.

Agradecimientos

A mi asesor y amigo Fernando Carcelén Cáceres, por su apoyo y guia en el proceso de la elaboración de la investigación. Mi eterno agradecimiento a su persona.

A mis amigos Jimny Nuñez y Marco Gutiérrez por el apoyo prestado en la investigación

A mi amiga y colega Sandra Bezada por su apoyo y amistad por ayudarme a seguir adelante frente a las adversidades.

A mi amiga Miluska, por su amistad y por darme ánimos en el proceso.

Esta investigación fue financiada por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Resolución Rectoral N° 016370-R-20 con código de proyecto A20080035 y Resolución Rectoral N° 01686-R-20 con código de proyecto A20081801.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

Dedicatoria i

Agradecimientos ii

Índice iii

Resumen v

Abstract vi

Lista de cuadros vii

Lista de anexos viii

Lista de abreviaturas ix

I. INTRODUCCIÓN 1

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 3

2.1 Producción de pollo de engorde en el Perú 3

2.2 Evolución del desempeño productivo del pollo de engorde 3

2.3 Intestino delgado 4

2.3.1 Desarrollo intestinal 4

2.3.2 Características de intestino delgado 6

2.4 Antibióticos promotores de crecimiento en aves 7

2.5 Espirulina (*Arthrospira platensis*) 8

2.5.1 Composición bioquímica de la espirulina 10

2.5.2 Propiedades de la espirulina 13

2.5.3 Uso de espirulina en alimentación de animales 15

2.5.3.1 Parámetros productivos 15

2.5.3.2 Morfometría intestinal 16

III. MATERIALES Y MÉTODOS 17

3.1 Lugar de estudio 17

3.2 Animales experimentales 17

3.3 Dieta base 17

3.4 Instalaciones y equipos 18

3.5 Tratamientos 19

3.6 Parámetros evaluados 19

3.6.1 Parámetros productivos 19

3.6.2 Morfometría intestinal 20
3.7 Diseño experimental y análisis estadístico 22
3. 8 Estimación del nivel óptimo e intervalos de confianza 22
IV. RESULTADOS 25
4.1 Parámetros productivos 25
4.2 Morfología intestinal 27
V. DISCUSIÓN 29
5. 1 Parámetros productivos 29
5.2 Morfometría intestinal 32
VI. CONCLUSIONES 35
VII. LITERATURA CITADA 36
VIII. ANEXOS 55

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la inclusión de espirulina (*Arthrospira platensis*) en la dieta de pollos de engorde sobre los parámetros productivos y morfometría intestinal. Se utilizaron 240 pollos de un día de edad machos de la línea Cobb 500, agrupados en 4 tratamientos con 6 repeticiones de 10 pollos cada una. Los tratamientos consistieron en: T0 (control), dieta base sin espirulina (0 g/Kg); T1, dieta base + 2.5 g/kg de espirulina; T2, dieta base + 5 g/kg de espirulina; y T3, dieta base + 10 g/kg de espirulina. El experimento se llevó a cabo utilizando un diseño de bloques completos aleatorio (DBCA). Se utilizó contrastes ortogonales polinómico lineal y cuadrático para determinar el efecto los tratamientos. La ganancia de peso (GP) y consumo de alimento (CA) mostraron un comportamiento cuadrático, mientras que el índice de conversión alimenticia (ICA) y el índice de eficiencia productiva europeo (IEPE) presentaron un comportamiento lineal. El modelo predijo que se requiere 6.8 g de espirulina por kilo de alimento para alcanzar 3,300 g de peso vivo por ave a los 42 días de edad. Los tratamientos no afectaron la longitud de vellosidad (LV) y ancho de vellosidad (AV) en el duodeno, yeyuno e íleon. Sin embargo, se observaron respuestas lineales significativas en la profundidad de cripta (PC) y el ratio longitud de vellosidad/profundidad de cripta (LV/PC) en el yeyuno, así como en LV/PC en el íleon en respuesta al incremento de espirulina en la dieta. En conclusión, los niveles crecientes de espirulina influyen en el rendimiento productivo bajo condiciones experimentales, mientras que su efecto sobre la morfometría intestinal no fue concluyente en pollos Cobb 500 a los 42 días de edad.

Palabras clave: Pollo de engorde, cianobacteria, índice de conversión alimenticia, longitud de vellosidad intestinal

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the effect of spirulina (*Arthrospira platensis*) on performance of broiler chicken and histological morphometry. 240 one-day-old male Cobb 500 chicks were grouped into four treatments with six replicates of 10 chickens each. Treatments consisted of: T0 (control), basal diet without spirulina; T1, basal diet + 2.5 g/kg spirulina; T2, basal diet + 5 g/kg + spirulina; and T3, basal diet + 10 g/kg of spirulina. The experiment was carried out using a completely randomized block design. Lineal and quadratic polynomial orthogonal contrasts were used to determine the treatment effects. Weight gain (WG) and feed intake (FI) showed quadratic behavior, while feed conversion ratio (FCR) and European productive efficiency index (EPEI) showed linear behavior. The model predicted that 6.8 g of spirulina per kg of feed were required to produce 3,300 g of live weight gain in a chicken at 42 days old. Treatments did not affect villus length (VL) and villus width (VW) in the duodenum, jejunum and ileum. However, significant linear responses were observed in crypt depth (CD) and villus length/crypt depth (VLD/CD) ratio in the jejunum, as well as VLD/CD in the ileum in response to increasing dietary spirulina. In conclusion, increasing levels of spirulina influence production performance under experimental conditions, whereas its effect on intestinal morphometry was inconclusive in Cobb 500 chickens at 42 days old.

Keywords: broiler, cyanobacteria, feed conversion ratio, villus length

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Coeficiente de digestibilidad ileal y aminoácidos digestibles totales (aparente y estandarizada) de la microalga espirulina (como alimento base) para pollos broilers. Tavernari *et al.* (2018). 11

Cuadro 2. Perfil de ácidos grasos y minerales de biomasa de espirulina. Ramirez-Rodrigues et al. (2021). 12

Cuadro 3. Vitaminas hidrosolubles en biomasa de espirulina (mg/100 g) 13

Cuadro 4. Capacidad antioxidante de la espirulina. 14

Cuadro 5. Dieta base y su composición nutricional, utilizada en pollos de engorde de la línea Cobb 500 18

Cuadro 6. Parámetros productivos de pollos Cobb 500 de 42 días de edad, sometidos a cuatro niveles de espirulina (*Arthrospira platensis*) 25

Cuadro 7. Medidas morfométricas (µm) de duodeno, yeyuno e íleon en pollos de la línea Cobb 500 de 42 días de edad, alimentados con cuatro niveles de espirulina (*Arthrospira platensis*) 28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Espirulina platensis. (a1) forma espiralada (a2) espirulina en polvo (Alwaleed *et al*., 2021). 9

Figura 2 Medidas morfométricas de vellosidad intestinal de pollo (a) Longitud de vellosidad (b) Ancho de vellosidad (c) Profundidad de cripta 21

Figura 3 Ajuste al modelo cuadrático de ganancia de peso (A) y consumo de alimento (B), y ajuste al modelo lineal del índice de conversión alimenticia (C) e índice de eficiencia productiva europeo (D) en pollos de la línea Cobb 500 en respuesta a cuatro niveles de espirulina (*Arthrospira platensis*) 27

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Registro sanitario del producto Espirulina 55

Anexo 2. Pesaje de semanal de los pollos de engorde de la línea Cobb 500 56

Anexo 3. Preparación de dietas en mezcladora capacidad 80kg 57

Anexo 4. Distribución de los tratamientos 58

Anexo 5. Análisis de varianza de los parámetros productivos sometidos a cuatro niveles de espirulina (Arthrospira platensis) 59

Anexo 6. Análisis de varianza de la morfometría intestinal del duodeno sometido a cuatro niveles de espirulina (*Arthrospira platensis*) 60

Anexo 7. Análisis de varianza de la morfometría intestinal del yeyuno sometido a cuatro niveles de espirulina (*Arthrospira platensis*) 61

Anexo 8. Análisis de varianza de la morfometría intestinal del íleon sometido a cuatro niveles de espirulina (*Arthrospira platensis*) 62

LISTA DE ABREVIATURAS

APC : antibiótico promotor de crecimiento

AV : ancho de vellosidad intestinal

CA : Consumo de alimento

DBCA: Diseño de bloques completos al azar

GP : ganancia de peso

HE : Hematoxicilina - Eosina

ICA : índice de conversión alimenticia

IC : Intervalo de confianza

IEPE : índice de eficiencia productiva europea

LV : longitud de la vellosidad intestinal

PC : profundidad de la cripta de Lieberkühn

TGI : tracto gastrointestinal

UE : Unión Europea

I. INTRODUCCIÓN

La producción avícola en Perú es una actividad económica esencial debido a su alta producción de proteína para consumo humano (MIDAGRI, 2023). Cada peruano consume, en promedio, 50.96 kg de carne de ave al año, lo que coloca al país como el mayor consumidor en Sudamérica (Industria Avícola, 2020; MIDAGRI, 2022).

Las empresas avícolas de crianza intensiva en el país emplean frecuentemente dietas con antibióticos promotores de crecimiento (APC) en la prevención de enfermedades y para mejorar la producción, debido a que el sistema digestivo es la principal entrada para el desarrollo y residencia de agentes patógenos y donde se llevan a cabo las respuestas inmunológicas (Kuttappan *et al.,* 2015). Sin embargo, con el tiempo, varios estudios (Sinovec y Markovic, 2005; Cota-Rubio *et al.,* 2014; Ardoino *et al.,* 2017) han alertado que el uso continuo de APC en la alimentación de pollos puede generar resistencia antimicrobiana, un problema de salud más preocupante. Frente a ello, Estados Unidos de América, así como, la UE implementaron regulaciones prohibiendo el empleo continuo de APC en el pienso de los animales (Cervantes, 2007; Bartkiene *et al.*, 2020).

Es por ello, que el sector avícola nacional tiene la responsabilidad de brindar productos que sean accesibles, que no hagan daño y con alto valor nutricional (Berrocal, 2019) y que no representen riesgos para la salud humana, por lo tanto, los profesionales de la industria buscan constantemente nuevas estrategias para sustituir de forma parcial o total los APC (Castanon, 2007). Entre éstas se destacan el uso de probióticos, prebióticos, antioxidantes, enzimas exógenas (Dhama *et al*., 2014) así como hierbas o fitogénicos (Abudabos *et al*., 2018) que posean propiedades antimicrobianas, antioxidantes, antiinflamatorias y capacidad de modular la microbiota del intestino. Estas características le otorgan un alto potencial para mejorar el rendimiento en la crianza avícola (Molina, 2022).

La espirulina se considera como una cianobacteria o alga verdeazulada, cosmopolita, que es utilizada como alimento funcional desde hace muchos años (Bensehaila *et al.,* 2015). Se caracteriza por sus altos niveles de proteína y componentes bioactivos (minerales, vitaminas, pigmentos, antioxidantes y ácidos grasos), lo cual la hace beneficiosa para la salud (Pulz y Gross, 2004; Gutiérrez-Salmeán *et al.,* 2015).

El mejoramiento genético del pollo de engorde ha permitido alcanzar tasas de crecimiento y eficiencia de la producción cada vez más altos, sin embargo, esto también lo ha vuelto susceptible a factores de manejo, ambiente y alimentación, siendo necesario explorar nuevas alternativas que contribuyan a mejorar la nutrición, rendimiento y el bienestar del ave. En este sentido, la espirulina como aditivo en la alimentación de aves es una alternativa a ser considerada. Por esta razón, el objetivo de este estudio fue evaluar la inclusión de espirulina en la dieta sobre los parámetros productivos y la morfometría intestinal del pollo de engorde.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Producción de pollo de engorde en el Perú

La crianza de pollos de engorde es una actividad intensiva de importancia económica en el país, que representa el 78% del sector avícola, contribuyendo con el 27.5% dentro del Valor Bruto de la Producción Agropecuaria. La industria avícola intensiva en el país se concentra a lo largo de la región costera, asimismo las principales regiones productoras de pollos son Lima (56.7%), La Libertad (17.7%) y Arequipa (9,5%) (MIDAGRI, 2023).

2.2 Evolución del desempeño productivo del pollo de engorde

A partir del siglo XX se establecieron las bases para la cría del pollo de engorde moderno que, a través de la selección genética, en conjunto con la nutrición, sanidad y manejo, se obtiene un ave que se destaca por su rápido crecimiento, un mejor desempeño y eficiencia en el uso de los piensos (Tavernari *et al*., 2008; Siegel, 2014), con el fin de satisfacer las necesidades y exigencias del mercado global (Cobb, 2019). De 1957 al 2005, las tasas de crecimiento de pollo de engorde han aumentado más del 400% y ha alcanzado una disminución del 50% en el índice de conversión alimenticia (ICA) (Zuidhof *et al.,* 2014).

Al nacimiento, el pollo pesa alrededor de 42g, al día 7 aumenta a un peso de 175g, el cual representa 19g/día, en la actualidad, los pollos de engorde machos alcanzan un peso vivo de 2.6kg a los 33-35 días de edad (Ravindran y Abdollahi, 2021), siendo dos veces más eficiente que el cerdo y cuatro veces más eficiente que el ganado vacuno (Siegel, 2014). A medida que el período de crecimiento de los pollos de engorde

modernos continúa disminuyendo, el manejo nutricional temprano del pollito se vuelve cada vez más importante (Ravindran y Abdollahi, 2021). Ya que en líneas de alto rendimiento es común la presentación de problemas de salud intestinal debido al alto consumo de alimento y exigencia del sistema digestivo para la absorción de nutrientes, seguido de una constante renovación de células intestinales (Ducatelle *et al.,* 2023).

2.3 Intestino delgado

2.3.1 Desarrollo intestinal

El tracto digestivo desempeña funciones esenciales en la digestión y absorción de nutrientes, procesos cruciales para el mantenimiento, crecimiento y reproducción del organismo. Dentro del intestino, ocurren diversas interacciones entre la luz intestinal, los microorganismos y las células epiteliales de absorción, que brindan protección tanto física como inmunológica (Koutsos, 2006), ya que el intestino delgado es considerado el órgano inmunológico más grande del cuerpo (Holmgren *et al*., 1992).

Los pollos al nacer presentan un sistema inmune digestivo inmaduro (Tizard, 1982) y procesos de digestión poco eficaces, una vez que se inicia la ingesta de alimento, se producen cambios en la morfología del tracto digestivo respecto al peso y largo del intestino principalmente el delgado, así como cambios en la mucosa con desarrollo de vellosidades, criptas y maduración de enterocitos (Uni *et al.,* 1995; Cartagena y Mejía, 2019).

Al nacer, los enterocitos tienen forma redonda y apolar, a las 24 horas se produce un aumento de la longitud y polaridad, por otro lado, a nivel de las criptas presentan pocas células y a las 48 horas se completa la invaginación; además, el número de criptas aumenta hasta llegar a un máximo posterior a las 72 horas (Geyra *et al*., 2001)

El epitelio intestinal del pollo de engorde completa su desarrollo entre el tercer y séptimo día de vida (Berti, 2003). Los cambios en las vellosidades y criptas siguen un eje cráneo caudal, teniendo diferentes velocidades de desarrollo en los tres segmentos (duodeno, yeyuno e íleon), con cambios entre 25 a 100% entre los 4 a 10 días de edad respectivamente, las porciones del yeyuno e íleon son donde se dan los principales cambios (Uni *et al.,* 1995). El peso del intestino en pavipollos y pollos alcanzan su punto

máximo entre los 6 y 10 días de edad porcentualmente sobre el peso corporal (Sklan, 2001).

Iji *et al*. (2001) evidenciaron que si bien, la mucosa intestinal está estructuralmente presente en la eclosión, ésta madura rápidamente con la edad por medio de una rápida proliferación celular inicial, hipertrofia y una mayor tasa de migración, alcanzando el punto máximo de proliferación celular a los 7 días de edad, mientras que la migración celular es mayor a los 14 días de edad, lo cual significa que el aumento de la proliferación celular es para apoyar el crecimiento tanto de la cripta como de la vellosidad.

Al nacimiento, la altura de las vellosidades del duodeno es el doble que los otros segmentos (Baranyiova y Holman, 1976), llegando a un desarrollo máximo entre 4 y 6 días en el duodeno y en 10 días en yeyuno e íleon (Uni *et al.,* 1998). Posteriormente la altura de las vellosidades en el duodeno se estabiliza aproximadamente a las dos semanas (antes que el yeyuno), además la profundidad de las criptas y el área de las vellosidades en el duodeno, yeyuno e íleon proximal y distal continúan aumentando durante el período de crecimiento alrededor de los 19 días de la eclosión (Thouvenelle *et al.,*1995).

Asimismo, cuando el animal inicia el proceso de alimentación, la ingesta de alimento incrementa a la par las secreciones pancreáticas y biliares al duodeno. Por otro lado, después de la eclosión, el tiempo del paso del alimento por el intestino delgado se reduce en un tercio durante la primera semana. El día 4 de vida la digestión de ácidos grasos y almidón es completa en pollos de engorde, mientras que la digestión de nitrógeno (N) se incrementa cerca del 80%, llegando a un 90% a los 10 días de edad (Uni *et al.,* 1995)

.

Factores como la dieta, estrés, patógenos y sustancias químicas causan disturbios en el epitelio intestinal, alteran el desarrollo y conducen a cambios en el número, tamaño de las vellosidades y criptas, incrementando la renovación celular, además puede producir aumento de la permeabilidad intestinal, lo que facilita la proliferación de microorganismos, ocasionando la disminución de las actividades digestivas y la absorción de los nutrientes (Dibner *et al.,* 1996; Plaza *et al*., 2014; Shanmugapriya *et al*., 2015b).

2.3.2 Características de intestino delgado

El intestino delgado del ave comprende tres partes, duodeno, yeyuno e íleon (Apajalahti y Vienola, 2016; Grond *et al.,* 2018). El primero inicia con el asa duodenal que inicia después de la molleja y culmina donde desembocan los conductos biliares y pancreáticos; a este nivel, el contenido ácido de la molleja se mezcla con la bilis y los jugos pancreáticos (Duke, 1986). Continúa con el yeyuno que limita con el divertículo de Meckel, en donde los nutrientes tales como las grasas, almidón y proteína son absorbidos y finaliza con el íleon, el cual culmina hasta la unión ileocecal, donde también se realiza la absorción de estos nutrientes, además del agua y minerales (Svihus, 2014).

A nivel histológico, el intestino está comprendido por cuatro túnicas (mucosa, submucosa, muscular y serosa). La mucosa está conformada por el epitelio, el cual entra en contacto con el contenido luminal y los microorganismos, seguido de lámina propia y muscular de la mucosa. La estructura de la submucosa está conformada por tejido conectivo, vasos sanguíneos y linfático. Continúa con tejido muscular conformada por dos bandas muscular, una con disposición circular y la segunda dispuesta longitudinalmente. La serosa se ubica externamente, conformado por tejido conjuntivo laxo cubierto por células epiteliales planas (Ferrufino *et al*., 1996; Salvo-Romero *et al.,* 2015).

Las funciones de la mucosa es la de ser una barrera que selecciona el paso de nutrientes, líquidos e iones además de proteger al individuo contra infecciones intestinales. La mucosa está formada por células epiteliales que se encuentran cubiertas por una capa de moco, además forma proyecciones a manera de dedos denominadas vellosidades (Salvo-Romero *et al.,* 2015; Chelakkot *et al.*, 2018).

Las vellosidades intestinales son protrusiones de la mucosa en la luz intestinal que permite aumentar la superficie de absorción, mientras que las criptas de Lieberkühn, representan invaginaciones del epitelio (Uni *et al*., 1996; Awad *et al.*, 2010) y se ubican en la base de las vellosidades, cuya función es el recambio celular gracias a la proliferación y diferenciación celular, formando nuevas células que migran hacia la punta de la vellosidad completando su proceso de maduración (Ensari y Marsh, 2018).

Sin embargo, Uni *et al.* (1996) indicaron que, en pollos, la proliferación y diferenciación celular no se centrarían solo en la cripta, sino que éstas migran a las vellosidades las cuales estarían compuestas de células diferenciadas y algunas células en proliferación. El aumento de la longitud y el diámetro de los segmentos intestinales también influye en la ampliación del área disponible para los procesos de absorción (Ravindran y Abdollahi, 2021), las cuales se evalúan, a través de estudios morfométricos de las vellosidades y criptas tales como altura y ancho de vellosidades, criptas y el ratio longitud de vellosidad/cripta (Awad *et al.,* 2010; Vásquez, 2019).

2.4 Antibióticos promotores de crecimiento en aves

El consumo de productos y subproductos avícolas se ha incrementado conforme al crecimiento de la población mundial, por lo que la industria avícola en afán de cubrir la demanda, ha realizado mejoramiento genético en las aves de producción, desarrolló líneas de aves con tiempo de crecimiento más corto, asimismo, al ser las aves más susceptibles a enfermedades, se está utilizando antibióticos como promotores de crecimiento (APC), como medidas preventivas y permitir que el ave mejore su rendimiento productivo (Kuttappan *et al.*, 2015).

Los mecanismos de acción de los APC no son claros, sin embargo, es posible que actúen modificando la diversidad y cantidad de la microbiota en el intestino, disminuyendo las bacterias patógenas y dejando las bacterias benéficas (Medhi *et al.,* 2018), lo cual conduce a disminuir la necesidad del sistema inmunológico de responder a procesos infecciosos, permitiendo que las aves destinen más energía al crecimiento en lugar de la defensa inmunológica (Lee *et al.,* 2012).

Sin embargo, diversos trabajos evidenciaron que el consumo de antibióticos puede producir resistencia al antibiótico empleado (Cancho *et al*, 2000; Sorum y Sunde, 2001); a través de genes de resistencia al antibiótico que potencialmente se pueden transmitir desde la microbiota animal al humano (Dibner y Richards, 2005; Sinovec and Markovic, 2005), animales y al medio ambiente (Ardoino *et al*., 2017), debido a que del 30 al 90% de la dosis de antibiótico consumida es eliminada con las heces y orina como metabolitos

o compuestos originales (Carvalho y Santos, 2016), afectando principalmente a ecosistemas acuáticos que son los más vulnerables (Manzetti y Ghisi 2014).

Desde el año 1970, la comunidad europea emitió la directiva 70/524 donde indica la preocupación del empleo de los APC en la alimentación animal (Ardoino *et al*., 2017) y posteriormente se prohíbe su empleo desde el 1 de enero 2006 (Gaggìa *et al.,* 2010). A pesar de que la UE suspendió utilizar APC, algunos son comercializados en Estados Unidos y países de Sudamérica. En Perú; se utilizan la lincomicina, tilosina, clortetraciclina, oxitetraciclina en la dieta (Álvarez, 2009); así mismo el zinc bacitracina todavía es ampliamente utilizada en la industria avícola, porcina y bovina como promotor de crecimiento en el alimento (Marshal y Levy, 2011).

En los últimos años, diversas investigaciones han buscado nuevas estrategias en el desarrollo de alternativas como microorganismos benéficos o ingredientes no digestibles que mejoren el crecimiento microbiano que contribuyan a la producción animal (Fuller, 1989; Diarra y Malouin, 2014). Dentro de estos tenemos a los probióticos, prebióticos, simbióticos, fitobióticos, acidificantes (Gaggìa *et al.,* 2010*;* Fallah *et al.,* 2013; Salim *et al.,*2013; Ruiz, 2020), también incluyen los llamados alimentos funcionales.

El epitelio del intestino cumple el rol de una barrera natural contra la invasión de microorganismos y sustancias tóxicas que puedan afectar la permeabilidad y la habilidad para absorber los nutrientes (Podolsky, 1993; Chávez *et al.,* 2016). Es por ello, que el uso de alimentos funcionales en la producción animal es una alternativa viable para mejorar la performance y la calidad del producto animal (Bonos *et al*., 2016).

2.5 Espirulina (*Arthrospira platensis*)

Es una cianobacteria del género *Arthrospira*, organismo procariota (Kovac *et al.*, 2013), cuyo nombre, espirulina, deriva de la forma de espiral (Andrade *et al*., 2018) que presenta su biomasa (Figura N° 1); son de color azul-verdosa, el cual procede de la ficocianina y la clorofila, son organismos fotosintéticos y autotróficos y su reproducción es por fisión binaria (Habib, 2008; Sili *et al.*, 2012).

La espirulina es un organismo que tienen características tanto de bacterias como de algas. La *Arthrospira maxima* y *A. platensis* son las especies más importantes del género Arthospira y entre éstas existe diferencias taxonómicas en filamentos, vacuolas, cubierta externa o cápsula de cada filamento (Tomaselli, 1997). Contienen pigmentos verdes y verde azulados, cuya función es la de emplear la luz solar para convertir dióxido de carbono y agua en carbohidratos y oxígeno durante el proceso de fotosíntesis (WHO, 2013).

La espirulina tiene un potencial nutritivo y ha sido utilizada para la alimentación de muchas especies domésticas. En forma natural se encuentra en los lagos alcalinos de México y África y sirvió como alimento a las antiguas poblaciones (Holman y Malau-Aduli, 2013). La espirulina también se puede encontrar en marismas, agua dulce, agua salobre, agua de mar y fuentes termales (Habib, 2008). Tradicionalmente, ha sido empleado como alimento durante la civilización Azteca en México (Belay *et al.,* 1996) y luego por habitantes nativos presentes en el área del Lago Chad en África (Abdulqader *et al.*, 2000).

La espirulina se caracteriza por un alto contenido de proteínas, ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), vitaminas, pigmentos como β-carotenos, clorofila y minerales (Panyakampol *et al.,* 2014). En la actualidad la espirulina se produce mundialmente de forma comercial como suplemento tanto para consumo humano como animal. (Martínez y Ramírez, 2017).

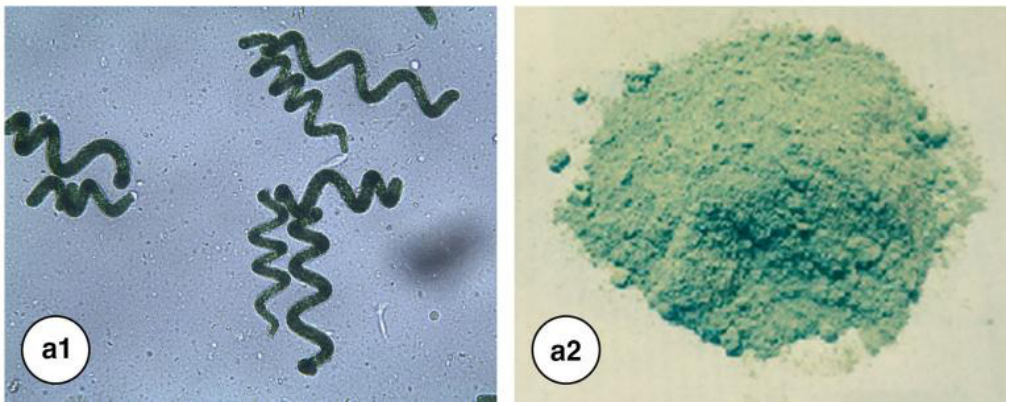

Figura 1. *Spirulina platensis.* (a1) forma espiralada (a2) espirulina en polvo (Alwaleed *et al*., 2021).

2.5.1 Composición bioquímica de la espirulina

La espirulina presenta niveles proteicos altos (Dillon *et al*., 1995; Bensehaila *et al.,* 2015); está compuesta entre 55 a 70% de proteína (Hoseini *et al.,* 2013; Velten *et al*. 2018), 15 a 25% de polisacáridos, 5 a 6% de lípidos totales, 6 a 13% de ácidos nucleicos y 2.2 a 4.8% de minerales (Hoseini *et al.,* 2013). Además, contiene ficobiliproteínas (con propiedades pigmentantes) que actúan como receptores de luz para la fotosíntesis.

Las ficobiliproteínas están clasificadas en tres grupos: ficoeritrina, aloficocianina y ficocianina (Lupatini *et al.,* 2016); esta última representa el 15%. Además, comprende una amplia variedad de aminoácidos esenciales y no esenciales de fácil digestión, el cual tiene un gran potencial como fuente alternativa de ingredientes para formulaciones que requieren de altos niveles de aminoácidos (Cuadro 1) (Tavernari *et al.*, 2018).

Cuadro 1. Coeficiente de digestibilidad ileal y aminoácidos digestibles totales (aparente y estandarizada) de la microalga espirulina (como alimento base) para pollos broilers. Tavernari *et al.* (2018).

Aminoácidos	Total AA (g/kg)	AIDC	SIDC	ADAA (g/kg)	SDAAA (g/kg)
Aminoácidos esenciales					
Metionina	8.1	0.772	0.824	6.3	6.7
Lisina	21.8	0.768	0.812	16.7	17.7
Treonina	24.9	0.724	0.834	18.0	20.8
Valina	26.1	0.725	0.797	18.9	20.8
Isoleucina	27.1	0.747	0.796	20.3	21.6
Arginina	39.2	0.747	0.778	29.3	30.5
Leucina	44	0.724	0.771	31.9	33.9
Histidina	7.3	0.720	0.800	5.3	5.8
Fenilalanina	22.3	0.761	0.853	17.0	19.0
Glicina	28.9	0.669	0.728	19.4	21.0
Aminoácidos no esenciales					
Asparagina	50.6	0.687	0.740	34.8	37.5
Glutamina	71.7	0.745	0.790	53.5	56.7
Serina	26.1	0.862	0.758	17.8	19.8
Alanina	41.4	0.736	0.778	30.5	32.2
Prolina	21.8	0.742	0.864	16.2	18.8
Tirosina	26.6	0.705	--	18.8	--
Cistina	13.1	0.687	0.778	9.0	10.2

Total AA= Aminoácidos totales; AIDC= Coeficiente de digestibilidad ileal aparente; SIDC = Coeficiente de digestibilidad ileal estandarizada; ADAA= Aminoácidos digestibles aparente; SDAA = Aminoácidos digestibles estandarizados

Por otro lado, Babadzhanov *et al.* (2004) determinaron que el contenido de lípidos en la biomasa fue de 14.3% (del total de alga secada al aire), de éstos 10.9% fueron ácidos grasos y 3.4% sustancias no saponificadas. Los ácidos grasos linoleico, ϒ-linolenico (GLA) y palmítico, en conjunto, pueden llegar a conformar entre 88 a 92% del total de ácidos grasos presentes en la *Arthrospira*, en donde, dependiendo de la especie, el ácido graso linoleico puede comprender de 13.1 a 31.5%, el ácido γ -linolenico de 12.9 a 29.4% y el ácido palmítico de 42.3 a 47.6% del total de ácidos grasos (Mühling *et al.,*2005).

Además, la espirulina contiene ácido linolénico, láurico y palmitoleico con actividad antimicrobiana, favorece la capacidad de absorción y por ende la digestibilidad de los nutrientes (El-Sheekh *et al.,* 2014), lo que ha generado interés emplearlo en el mejoramiento de la producción de aves (Jamil *et al*., 2015; Madeira *et al*., 2017).

Cohen *et al.* (1987) demostraron que el contenido del ácido graso poliinsaturado, ácido graso ϒ-linolenico (GLA), puede alcanzar hasta 31.7% de ácidos grasos y 1.4% de la biomasa (peso en seco) de la espirulina. El GLA es considerado como un precursor

para la prostaglandina E1, un importante componente biológico necesario en la reducción de la inflamación y presión sanguínea.

La espirulina presenta mayor cantidad de calcio, potasio y hierro en su composición en comparación con otras fuentes animales y vegetales como la leche y espinaca (Cuadro 2) (Ramírez-Rodrigues *et al.*, 2021) y es una fuente de vitaminas donde predomina la presencia del β-caroteno, la cual tiene actividad antioxidante, siendo uno de los principales carotenoides implicados en el sistema de defensa contra los radicales libres (Chamorro *et al.,* 2002), además de otras vitaminas como vitamina C, E, D y cianocobalamina B1 (Cuadro 3).

Cuadro 2. Perfil de ácidos grasos y minerales de biomasa de espirulina. Ramirez-Rodrigues *et al.* (2021).

Componentes		**Contenido**
Perfil de ácidos grasos		g/100g*
Ácidos grasos saturados (SFA)		
Palmítico	C16:0	37.09 ± 1.28
Esteárico	C18:0	5.5± 0.14
Araquidónico	C29:0	6.24 ±0.28
Total, SFA		48.83
Ácidos grasos monosaturados (MUFA)		
Elaidico	C18:1 trans9	2.8 ± 0.11
Oleico	C18:1 cis9	2.34 ± 0.11
Total, MUFA		5.14
Ácidos grasos poliinsaturados (PUFA)		
Linoleico	C:18:2 cis9,12	3.33 ± 0.14
α-Linoleico	C:18:3 cis9,12,15	4.28 ± 0.18
γ -Linoleico	C:18:3 cis6,9,12	24.45 ± 1.20
Eicosatetraenoico	C:20:4 cis5,8,11,14	13.96± 0.67
Total, PUFA		46.02
Perfil de minerales		mg/100g
Sodio		2033.33± 35.36
Potasio		1675.00 ± 28.65
Fósforo		728.22 ± 21.37
Magnesio		486.41± 20.51
Calcio		207.51 ± 3.54
Hierro		16.27 ± 0.64
Manganeso		1.09 ± 0.05
Zinc		0.19± 0.00
Selenio		0.08 ± 0.00

*Los resultados del perfil de ácidos grasos están expresados como g de ácido graso/100g de total de grasas. Los resultados del perfil mineral son dados en mg de mineral/100g de muestra. Los resultados son expresados como promedio(n=3) y desviación estándar (SD=±).

Cuadro 3. Vitaminas hidrosolubles en biomasa de espirulina (mg/100 g)

Vitamina	Rango
Vitamina C, mg	42.0-195.3
Nicotinamida, mg	0.6-5.3
Piridoxina (B1), mg	0.8-15.4
Riboflavina (B2), mg	0.2-0.9
Tiamina (B6), mg	0.3- 4.0
Ácido fólico (B9), mg	0.2-0.6
Cianocobalamina (B12), mg	0.3-0.8
β-caroteno, mg	64-140
Vitamina E, mg	10-19
Vitamina D, UI	12,000

Adaptado de Babadzhanov *et al.* (2004)

2.5.2 Propiedades de la espirulina

Kumar *et al.* (2011) y El-Baz *et al.* (2013) evidenciaron que los ácidos grasos y extractos etanólicos de la espirulina presentaron efecto antimicrobiano sobre *Staphylococcus aureus, Salmonella* Typhimoriun *y Enterococcus faecalis,* Asimismo, Mendiola *et al*. (2007) demostraron que la espirulina inhibe el crecimiento de *Escherichia coli, Candida albicans* y *Aspergillus niger.* Por otro lado, Sarada *et al.* (2011) reportaron que la espirulina inhibe el crecimiento de las bacterias *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniar, Pseudomonas aeruginosa y Stephylococcus aureus* drogo resistentes.

Shanmugapriya *et al.* (2015a), Fathi *et al. (*2018) y Zahir *et al,* (2019) demostraron que el uso de espirulina en la dieta redujo la población de bacterias coliformes y aumento los lactobacillus a nivel del íleon y ciego en pollo. El-Sheekh *et al.* (2014) demostraron que compuestos purificados producidos por S*pirulina platensis* presentaron mayor actividad biológica contra *E. coli*, *Pseudomona aureginosa*, *Bacillus subtilis* y *Aspergillus niger* a nivel de laboratorio, lo cual sugiere que la espirulina podría ser fuente de compuestos antimicrobianos.

Asimismo, las capacidades antioxidantes de la espirulina están relacionados con sus compuestos funcionales (Cuadro 4) (Piñero *et al.,* 2001; Park *et al*., 2018a), como la presencia de ficocianina, betacaroteno y tocoferol en la espirulina que produjeron el retraso y/o inhibición de la oxidación de lípidos (Vadiraja *et al*., 2000; Kuhad *et al.,* 2006; El-Desoky *et al*., 2013; Mirzaie *et al.* 2018; Momo *et al.* 2021). Se demostró que el uso

de espirulina al 1%, promovió el incremento lineal del superóxido dismutasa, así como la reducción de MDA (malondialdehído), el cual es un biomarcador de estrés oxidativo que se forma cuando los radicales libres dañan los ácidos grasos poliinsaturados en las membranas celulares (Park *et al*., 2018b).

Khan *et al.* (2005) y El-Desoky *et al.* (2013) indicaron que la actividad antioxidante de la espirulina estaría relacionada con la presencia de ficocianina, carotenoides y polifenoles. Por otro lado, Estrada *et al*. (2001) evidenciaron que al incrementar los niveles de ficocianina inhibieron los radicales hidroxilos in vitro. Asimismo, Santiago-Morales et al. 2018) demostraron a nivel de laboratorio que la ficocianina de las microalgas elimina los radicales superóxido y peróxido de hidrógeno, lo cual hace importante su uso en la alimentación.

Cuadro 4. Capacidad antioxidante de la espirulina.

Componente Bioactivo	Actividad	Efecto específico	Referencia
Ficoniacina	Antioxidante	eliminador de radicales libres (radicales hidroxilos y piróxilo) e inhibe la peroxidación lipídica microsomal in vitro	Piñero *et al*. (2001) Park *et al.* (2018a)
Carotenoides	Antioxidante Pigmentante	Test de actividad antioxidante	Park *et al*. (2018a)

Elaboración propia

Ayehunie *et al*. (1998) observaron que la fracción polisacárido y taninos de la espirulina presentan acción antiviral al inhibir la replicación de HIV-1 en humanos en células mononucleares de sangre periférica y en células de Langerhans. El extracto de espirulina puede inhibir algunas cepas del virus de la gripe Influenza A y B, afectando la hemaglutinación en una etapa temprana de la infección del virus (Chen *et al.,* 2016).

Por otro lado, Liu *et al.* (2020) observaron que la dosis de 50mg/kg de ficocianina en ratas sometidas a lesión intestinal inducida por la radiación, reguló la composición de bacterias beneficiosas y dañinas en la microbiota del intestino, reduciendo así los niveles de lipopolisacáridos (LPS), inhibiendo la vía TLR4-Myd88-NF-κB, que es una señalización del sistema inmunológico innato en respuesta a los patógenos y además regula la inflamación intestinal.

2.5.3 Uso de espirulina en alimentación de animales

La acción de la espirulina ha sido estudiada en corderos (Holman *et al*., 2012), cerdos (Šimkus *et al.,* 2013), pollos (Jamil *et al*., 2015; Madeira *et al*., 2017; Pango, 2021), gallinas (Selim *et al*., 2018) y codornices (Hajati y Zaghari, 2019; Cheong *et al.,* 2015) y en peces (Zhang *et al.,* 2020),

2.5.3.1 Parámetros productivos

Estudios en pollos Cobb 500 de 42 días, demostraron que dosis de 6% de espirulina en la dieta, en reemplazo parcial de la harina de soya como fuente de proteína, mejoró el rendimiento productivo (El-Hady y El-Ghalid, 2018), mientras que dosis de hasta 10% no producen efectos adversos (Becker, 2004).

En cuanto al efecto sobre los parámetros productivos en pollos de engorde de la línea Vencobb 400Y durante 6 semanas, Shinde *et al.* (2018) observaron diferencias significativas en peso vivo e índice de conversión con dosis de 0.06 y 0.08% de espirulina con respecto al control.

Por otro lado, Jamil *et al.* (2015) probaron la actividad de la espirulina con dosis de 2, 4 y 8 g/kg (0.2, 0.4 y 0.4% respectivamente) en la dieta en pollos Cobb 500 por 4 semanas, observándose incremento significativo del peso corporal en todos los tratamientos frente al control. Mientras que Kaoud (2015) observó que la dosis 1 Kg/t de espirulina en el alimento durante 42 días en pollos Hubbard, incrementaron significativamente el peso corporal, rendimiento de canal y mejor ICA.

Shanmugapriya *et al.* (2015b) determinaron que el mejoramiento de la ganancia de peso y disminución del índice de conversión fueron observadas en valores de 1% de espirulina en dietas en pollos Cobb 500; por su parte Mora (2012) al evaluar la espirulina en la alimentación en pollos de engorde, evidenció mejor ICA con dosis de 5% en comparación al control y las dosis 1 y 3%. Sin embargo, Bonos *et al*. (2016), no encontraron diferencias significativas en ganancia de peso, conversión alimenticia y mortalidad en dosis de 1, 5 y 10 g/kg de espirulina en el alimento.

En gallinas de postura, dosis de 0.3% mejoraron el rendimiento de postura y la calidad del huevo (Selim *et al.,* 2018). Mientras que Kharde *et al.* (2012) con dosis de

500 mg de espirulina por kilo de alimento, obtuvieron resultados significativos en el peso vivo en pollos de engorde. Por otro lado, Mirzaie *et al.* (2018), al emplear dosis de 0.5, 1 y 2% de espirulina, en dietas de pollos no evidenciaron cambios significativos en la performance productiva bajo condiciones de alta temperatura ambiental; sin embargo, observaron una disminución en la concentración de la hormona del estrés (corticosterona) y una mejora en la respuesta inmunitaria.

2.5.3.2 Morfometría intestinal

La LV y PC están relacionadas con la capacidad de digestión del intestino delgado (Pango, 2021) y contribuyen a la absorción de minerales y mejoran la digestión de los nutrientes (Gružauskas *et al*., 2004). Estudios realizados por Asmaz y Seyidoglu (2022) en ratas Wistar alimentadas por 45 días evidenciaron que la dosis de 1000 mg/kg de espirulina en la dieta produjo un incremento de la LV y del ratio LV/PC (RLP) y disminuyó la PC del duodeno.

Furbeyre *et al.* (2017) observaron que la adición de 1% de espirulina en la dieta de lechones destetado, incrementó la LV en el yeyuno. Mientras que en aves Shanmugapriya *et al.* (2015b) observaron que la dosis de 1% de espirulina en dietas de pollo de la línea Ross 308 de 36 días de edad, aumentó la LV del yeyuno, frente al grupo control, lo que se atribuye a su actividad prebiótica.

Khan *et al*. (2020) evidenciaron el aumento en la LV del intestino al incluir de diferentes dosis de espirulina en el alimento (1, 1.5 y 2 g/kg) en pollos Arbor Acres; y El-Hady *et al*. (2022) reportaron un incremento sobre la LV y la RLP al emplear dosis de 3 y 6% en pollos Cobb 500 de 35 días, lo cual lo atribuyen a su acción prebiótica y antioxidante.

Por consecuencia, la espirulina (*Arthrospira platensis*) es un ingrediente con alto valor nutritivo y propiedades funcionales que pueden mejorar potencialmente el rendimiento productivo de las aves, aunque sus efectos dependen de la dosis, calidad y condiciones de crianza.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

El experimento se realizó en el Galpón experimental del Laboratorio de Producción Avícola y Especies Menores de la Facultad de Medicina Veterinaria de la UNMSM (LPAYEM), ubicado a 12°04'54,3"S 76°59'13,8"W, y una altura de 170 msnm, en los meses de febrero y marzo de 2021. Las lecturas de los cortes histológicos se realizaron en el Área de Investigación Morfológica del Laboratorio de Anatomía Animal y Fauna Silvestre de la Facultad de Medicina Veterinaria de la UNMSM.

3.2 Animales experimentales

Se emplearon 240 pollos machos de línea Cobb 500, repartidos en 60 pollos por tratamiento con seis repeticiones de 10 pollos cada uno. Las aves fueron criadas desde el día 1 hasta el día 42 de edad.

Las aves recibieron el siguiente programa de vacunación: Día 1: Enfermedad de Marek vía subcutánea realizada en planta de incubación; mientras que para la vacunación contra Bronquitis Infecciosa y Enfermedad de Newcastle se realizó vía aspersión. Día 10: Revacunación contra la Enfermedad de Newcastle vía ocular.

3.3 Dieta base

En el Cuadro 5 se observa la dieta base que fue formulada con el Software Dapp Nutrition®, según los requerimientos nutricionales por etapa de crianza.

Cuadro 5. Dieta base y su composición nutricional, utilizada en pollos de engorde de la línea Cobb 500

Ingrediente (%)	Dietas base		
	Inicio	Crecimiento	Acabado
Maíz nacional molido	55.83	61.43	65.39
Torta de soya	25.91	21.76	20.25
Harina integral de soya	13.00	11.60	8.00
Aceite de soya	1.38	1.50	3.00
Fosfato dicálcico	1.73	1.61	1.33
Carbonato de calcio	0.86	0.82	0.73
Sal	0.37	0.37	0.36
DL-metionina	0.29	0.28	0.26
Lisina -HCL	0.20	0.23	0.24
Premezcla[1]	0.12	0.12	0.12
Secuestrante	0.10	0.10	0.10
Treonina	0.11	0.08	0.07
Cloruro de colina 60%	0.05	0.05	0.10
Clopidol	0.05	0.05	0.05
Composición nutricional			
Energía (kcal)	2975.0	3025.0	3125.0
Proteína cruda (%)	21.78	19.83	17.81

[1] premezcla: Vit A 12 000 000 UI, Vit D3 5 000 000 UI, Vit E 30 000 UI, Vit K3 3 g, Vit B1 2 g, Vit B2 10 g, Vit B6 3 g, Vit B12 0.015 g, Vit B5 11 g, Vit B9 2 g, Vit B3 30 g, Vit B7 0.15 g, manganeso 80 g, zinc 80 g, hierro 50 g, cobre 12 g, yodo 1 g, selenio 0.30 g

La preparación de las dietas se realizó en el área de Molino del LPAYEM. El agua fue *ad libitum,* y el alimento se suministró diariamente y al finalizar la semana se pesó el residual. Las dietas por etapa fueron: inicio: 1 a 8 días de edad, crecimiento: 9 a 18 días de edad y acabado: 19 a 42 días de edad. La espirulina fue incorporada como aditivo funcional en niveles de 2.5, 5.0 y 10.0 g/kg sobre la dieta base sin modificación de su composición, dado que su inclusión representó menos del 1% del total de la ración y probablemente no altero el perfil nutricional

3.4 Instalaciones y equipos

Para el microclima se emplearon como fuente de calor campanas de calefacción de gas y 2 termohigrómetros (temperatura y humedad). Como cama se empleó viruta de madera de 5cm de espesor, los equipos de alimentación empleados fueron comedero tolva de inicio en la primera semana, comedero tipo tolva aluminio en el resto del estudio y bebedero automático. Para medición de peso vivo y alimento se empleó una balanza digital de 10 kg de capacidad y 0.1g de precisión.

3.5 Tratamientos

Los tratamientos fueron las dietas con diferentes niveles de inclusión de espirulina: T0: dieta base sin espirulina (Control), T1: dieta base con 2.5 g/kg de espirulina, T2: dieta base con 5g/kg de espirulina, y T3: dieta base con 10 g/kg de espirulina. Se empleó la espirulina en polvo (marca: Qingdao Huineng Biotech, origen: China), con las siguientes características: color: verde oscuro, humedad: 7%, proteína cruda: 60%, ficocianina: 8%, clorofila: 1%, carotenoides: 1% y ceniza: 8%. (Anexo 1)

3.6 Parámetros evaluados

3.6.1 Parámetros productivos

Los parámetros productivos analizados fueron:

a. Ganancia de peso (GP)
   La ganancia de peso (g/ave), fue obtenida como la diferencia entre el peso final (42 días) y el peso inicial (día 1) de los pollos.

   GP = Peso final – peso inicial

b. Consumo de alimento (CA)
   El consumo de alimento (g/ave), fue calculado con la diferencia entre el alimento suministrado y el alimento residual semanalmente hasta los 42 días de edad.

c. Índice de conversión alimenticia (ICA)
   El ICA fue expresado como la cantidad de alimento consumido (g/ave) para producir una unidad ganancia de peso (g/ave) al final del experimento.

   $$ICA = \frac{\text{Consumo de alimento}}{\text{Ganancia de peso vivo}}$$

d. Índice de eficiencia productiva europea (IEPE)
   Se calculó al final del experimento con la siguiente fórmula:

   $$IEPE = \frac{\text{Viabilidad \% x Peso vivo (g/ave)}}{\text{días de edad (42d) x ICA}} \times 100$$

El porcentaje de viabilidad se obtuvo a los 42 días, dividiendo aves vivas finalizadas/aves vivas iniciadas por 100 (Gonzáles *et al.*, 2013). El IEPE es una medida utilizada en industria avícola, permite evaluar el rendimiento de un lote de pollos de engorde a través de la comparación de lotes, siendo el valor mayor quien expresa mejor rendimiento (Tolentino *et al.*, 2008).

3.6.2 Morfometría intestinal

La morfometría intestinal de los tratamientos fue medida al final de los 42 días de edad, se seleccionó un ave al azar por unidad experimental (corral). Las aves fueron sacrificadas en la sala de necropsia del LPAYEM luego de 8 horas de ayuno, para evitar la distensión intestinal que pudiera alterar las mediciones morfométricas. Posteriormente, se realizó una contusión craneal para producir una rápida pérdida de conciencia (Underwood,2020). Luego se procedió al desangrado entre 90 y 120 segundos aproximadamente, con la finalidad la congestión vascular en el tejido

Se realizó una incisión abdominal medial para exponer el tracto digestivo. Se tomaron muestras de 1cm de largo de cada segmento del intestino, teniendo como referencia la mitad de cada de uno de los tres segmentos: duodeno, desde el final de la molleja hasta los ductos biliares y pancreáticos, yeyuno desde los ductos biliares y pancreáticos hasta el divertículo de Meckel e íleon, desde el divertículo de Meckel hasta la unión ileocecal.

Cada segmento fue identificado y lavado con solución salina fisiológica (NaCl 0.9%) para eliminar algún residuo, evitando dañar la mucosa del intestino. Los cortes se fijaron por 24 horas en formalina tamponada neutral concentrada al 10% (Wu *et al.*, 2016), luego se colocaron en frascos con rótulos y fueron enviados al Laboratorio "Lab. Crishistotecnologa E.I.R.L.", Lima, Perú; quienes realizaron los cortes histológicos y coloración con HE, usando el protocolo de técnicas histológicas para procesamiento de los tejidos (Megías *et al.*, 2017; Santos, 2017).

Para las mediciones microscópicas de la morfología intestinal por cada corte histológico se seleccionó de 8 a 10 campos por cada lámina usando un microscopio (Marca: Leica® DM1000 con Cámara: ICC50W) con aumento de 40X (Canto, 2019).

Para las mediciones de los parámetros morfométricos se siguió el protocolo de Gava (2012):

a. Longitud de vellosidad (LV)

   Se determinó desde el ápice hasta el ápice de la entrada de la cripta de Lieberkühn (µm) (Figura 2).

b. Ancho de la vellosidad (AV)

   Se estableció con una línea perpendicular a la sección media de la vellosidad intestinal (µm) (Figura 2).

c. Profundidad de cripta (PC)

   La medición parte de la entrada de la cripta de Lieberkühn hasta la zona basal de la misma (µm) (Figura 2).

d. Relación longitud de vellosidad/profundidad de cripta (LV/PC)

   Se determinó dividiendo la longitud de la vellosidad sobre la profundidad de cripta (Figura 2).

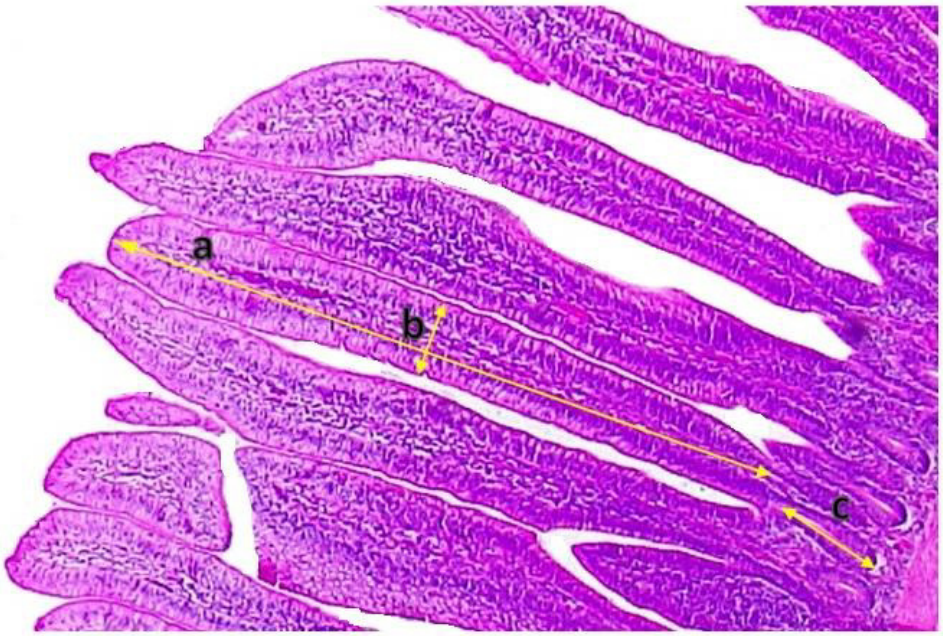

Figura 2. Medidas morfométricas de vellosidad intestinal de pollo (a) Longitud de vellosidad (b) Ancho de vellosidad (c) Profundidad de cripta

3.7 Diseño experimental y análisis estadístico

En función de la disponibilidad de animales, infraestructura experimental, capacidad logística de manejo y monitoreo; se emplearon 240 pollos machos de un día de edad de la línea Cobb 500, agrupados en 4 tratamientos con 6 repeticiones de 10 pollos cada uno. Distribución similar a lo empleados por Akinmutimi *et al*. (2018) y Li *et al.* (2023).

Se empleó un análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) para reducir posibles fuentes de variabilidad no asociadas al tratamiento. Se emplearon seis bloques y cada bloque se definió como la ubicación del corral dentro del galpón, debido a que los pollos en corrales cercanos a las entradas de luz natural reciben una mayor estimulación visual, lo cual puede influir en el comportamiento alimenticio y actividad física de los pollos.

Los efectos de los niveles de espirulina sobre los parámetros productivos y morfológicos fueron evaluados aplicando contrastes ortogonales lineales y cuadráticos (Carcelén, 2020). Para estimar los coeficientes de los contrastes ortogonales lineal y cuadrático, considerando niveles de espirulina no equidistantes fueron obtenidos mediante regresión polinómica ortogonal, empleando la función *poly(x, degree)* de la librería "*stats*" del lenguaje de programación R.

3. 8 Estimación del nivel óptimo e intervalos de confianza

Para estimar el nivel óptimo de inclusión de espirulina en la dieta, se aplicó un modelo de regresión cuadrática (Ecuación 1) que describe la relación entre los niveles de espirulina empleados y la variable productiva ganancia de peso. El nivel óptimo de espirulina se definió como el punto máximo de la función cuadrática (Ecuación 2) y para calcularlo se realizó mediante la primera derivada de la función cuadrática estimada (Ecuación 3).

$$GP = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 S^2 \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

GP: Ganancia de peso (gramos)

S: Nivel de espirulina (g/Kg)
β_0, β_1y β_2: parámetros del modelo de regresión

Maximización de la función cuadrática

$$Max\ GP: \frac{\partial GP}{\partial S} = \frac{\partial(\beta_o+\beta_1 S+\beta_2 S^2)}{\partial S} = 0 \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

$$\beta_1 + 2\beta_2 S = 0$$

El valor del nivel óptimo de espirulina que maximiza la ganancia de peso es igual a:

$$S_{"max\ GP"} = \frac{-\beta_1}{2\beta_2} \qquad \text{(Ecuación 3)}$$

Para calcular el Intervalo de Confianza (IC) del nivel óptimo de espirulina que consideró la incertidumbre en los coeficientes β_1y β_2, se usó:

$$S^{(i)}_{"max"} = \frac{-\beta_1^{(i)}}{2\beta_2^{(i)}} \qquad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde $[(\beta_1^{(i)}, \beta_2^{(i)})]$, son parámetros simulados (simulación de Monte Carlo) a partir de una distribución normal multivariada con vector de media de los coeficientes estimados del modelo cuadrático igual a $\binom{\beta_1}{\beta_2}$ y matriz de varianza-covarianza igual a sigma (Σ).

$$(\beta_1^{(i)}, \beta_2^{(i)}) \sim N\left(\binom{\beta_1}{\beta_2}, \Sigma\right)$$

Por lo tanto, el Intervalo de Confianza (IC) del nivel óptimo de espirulina al 95% de confianza, está definido por;

$$IC_{95\%}S_{"max"} = \left[cuantil_{2.5\%}\left(S^{(i)}_{"max"}\right), cuantil_{97.5\%}\left(S^{(i)}_{"max"}\right)\right] \qquad \text{(Ecuación 5)}$$

Sustituyendo $S_{"max"}^{(i)}$ en la ecuación anterior

$$IC_{95\%}S_{"max"} = \left[cuantil_{2.5\%}\left(\frac{-\beta_1^{(i)}}{2\beta_2^{(i)}}\right), cuantil_{97.5\%}\left(\frac{-\beta_1^{(i)}}{2\beta_2^{(i)}}\right)\right] \qquad \text{(Ecuación 6)}$$

Finalmente, sustituyendo $S_{"max"}$ y los valores del Intervalo de Confianza (IC) del nivel óptimo de espirulina al 95% de confianza, en el modelo de regresión cuadrático (ecuación 1) obtenemos las siguientes expresiones:

$$GP_{"max"} = \beta_0 + \beta_1^{(i)} S_{"max"} + \beta_2^{(i)} S_{"max"}{}^2 \qquad \text{(Ecuación 7)}$$

$$GP_{2.5\%} = \beta_0 + \beta_1^{(i)}\left[cuantil_{2.5\%}\left(\frac{-\beta_1^{(i)}}{2\beta_2^{(i)}}\right)\right] + \beta_2^{(i)}\left[cuantil_{2.5\%}\left(\frac{-\beta_1^{(i)}}{2\beta_2^{(i)}}\right)\right]^2 \qquad \text{(Ecuación 8)}$$

$$GP_{97.5\%} = \beta_0 + \beta_1^{(i)}\left[cuantil_{97.5\%}\left(\frac{-\beta_1^{(i)}}{2\beta_2^{(i)}}\right)\right] + \beta_2^{(i)}\left[cuantil_{97.5\%}\left(\frac{-\beta_1^{(i)}}{2\beta_2^{(i)}}\right)\right]^2 \text{(Ecuación 9)}$$

El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico R v. 4.02 (R Core Team, 2021), empleando los paquetes *MASS, lm y ggplot2*.

IV. RESULTADOS

4.1 Parámetros productivos

Cuadro 6. Parámetros productivos de pollos Cobb 500 de 42 días de edad, sometidos a cuatro niveles de espirulina (*Arthrospira platensis*)

Parámetro	espirulina g/kg (niveles de inclusión)				Contraste	
					Lineal	Cuadrático
	0	2.5	5	10	*p-valor*	
Ganancia de peso – GP (g/ave)	3,154.3	3,281.8	3,304.8	3,275.5	0.0077**	0.0123*
Consumo de alimento – CA (g/ave)	5,174.2	5,356.8	5,323.2	5,148.8	0.3823	0.0133*
Índice de conversión alimenticia – ICA	1.64	1.63	1.61	1.56	0.0048**	0.5708
Índice de eficiencia productiva europea – IEPE)	434.67	464.17	473.33	493.83	0.0333*	0.5519

* Respuesta significativa a 0.05. ** Respuesta significativa a 0.01

a. Ganancia de peso

La incorporación de espirulina (*Arthrospira platensis*) en la dieta de pollos de engorde incrementó la ganancia de peso, mostrando una respuesta lineal y cuadrática significativa ($p<0.01$ y $p<0.05$, respectivamente) (Cuadro 6, Figura 3). Asimismo, se alcanzó la mayor ganancia de peso promedio con 5 g/kg. Por otro lado, el nivel óptimo de espirulina que maximiza la ganancia de peso fue estimado en 6.8g/kg ($IC_{0.95}$: 5.7-10.0) el cual produjo una ganancia de peso de 3,331g ($IC_{0.95}$: 3,260-3,408).

b. Consumo de alimento

El consumo de alimento se incrementó al incorporar 2.5g/kg de espirulina en la dieta (5,356.8 g/ave) para luego disminuir a mayores concentraciones, describiendo un comportamiento cuadrático ($p<0.05$). Lo cual indica que los niveles de espirulina afectaron el consumo de las aves. Por otro lado, el nivel óptimo de espirulina que maximiza el consumo de alimento fue estimado en 4.7g/Kg ($IC_{0.95}$ 3.0-5.8), alcanzando un valor máximo de 5353 g ($IC_{0.95}$ 5218-5506).

c. Índice de conversión alimenticia

El índice de conversión alimenticia mejoró a medida que se incrementan los niveles de espirulina, evidenciando una tendencia de tipo lineal inversa ($p<0.01$) (Cuadro 6, Figura 3). Lo que indica un uso más eficiente del alimento sobre la ganancia de peso.

d. Índice de Eficiencia Productiva Europea

El IEPE mostró una tendencia lineal creciente en los grupos suplementados con espirulina (Cuadro 6, Figura 3). Este resultado indica que la inclusión de este aditivo contribuye a una crianza más eficiente y con un mejor indicador de productividad. Dado que la crianza se llevó a cabo en condiciones experimentales, no se observaron diferencias sustanciales en la mortalidad entre los tratamientos evaluados, sin embargo, esta variable podría haber estado afectada por los valores del ICA.

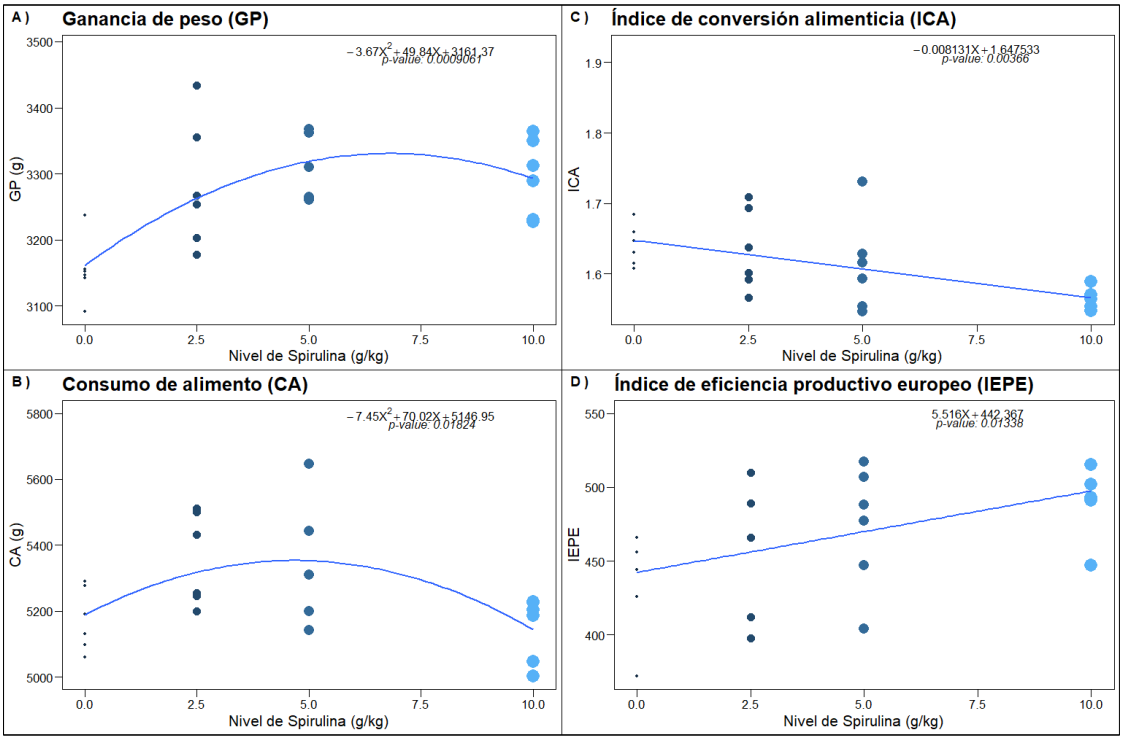

Figura 3 Ajuste al modelo cuadrático de ganancia de peso (A) y consumo de alimento (B), y ajuste al modelo lineal del índice de conversión alimenticia (C) e índice de eficiencia productiva europeo (D) en pollos de la línea Cobb 500 en respuesta a cuatro niveles de espirulina (*Arthrospira platensis*)

4.2 Morfología intestinal

En el Cuadro 7 se muestran los resultados de morfometría intestinal sometido a cuatro niveles de espirulina. No se observaron respuestas lineales, ni cuadráticas significativas en LV de duodeno, yeyuno e íleon, además el AV no presentó tendencia significativa en los tres segmentos intestinales evaluados. No obstante, se mostraron respuestas lineales significativas en la PC y LV/PC en yeyuno y en LV/PC en íleon debido al efecto de los niveles crecientes de espirulina en la dieta.

Cuadro 7. Medidas morfométricas (µm) de duodeno, yeyuno e íleon en pollos de la línea Cobb 500 de 42 días de edad, alimentados con cuatro niveles de espirulina (*Arthrospira platensis*)

Indicador	espirulina g/Kg (niveles de inclusión)				Modelo	
					Lineal	Cuadrático
	0	2.5	5	10	*p-valor*	
Duodeno						
LV	1502.5	1337.5	1588.2	1583.9	0.0634	0.5872
AV	106.4	101.9	106.2	106.1	0.901	0.841
PC	150.1	130.9	148.3	140.6	0.746	0.652
LV/PC	10	10.3	10.8	11.5	0.106	0.994
Yeyuno						
LV	1318.5	1267.9	1318.3	1319.7	0.712	0.648
AV	103.5	112.2	107	109.2	0.628	0.577
PC	152	142.9	141.8	123.4	0.00163**	0.703
LV/PC	8.7	8.9	9.4	10.8	0.00013***	0.3013
Íleon						
LV	995	1016.6	1062.7	1089.1	0.0732	0.7389
AV	112	102.8	111.2	104.6	0.646	0.946
PC	125.2	120	126.5	114.7	0.0974	0.3739
LV/PC	7.9	8.5	8.5	9.5	0.00217**	0.6868

* Respuesta significativa a 0.05; ** Respuesta significativa a 0.01. LV: longitud de vellosidad, AV: ancho de vellosidad, PC: profundidad de cripta, LV/PC: relación entre LV/PC

V. DISCUSIÓN

5. 1 Parámetros productivos

El estudio demostró que los diferentes niveles de inclusión de espirulina evaluados afectaron la ganancia de peso y el consumo de alimento en pollos de engorde. La ganancia de peso y consumo de alimento presentaron comportamientos de tipo cuadrático, lo que indica que a medida que aumenta los niveles de la inclusión de espirulina mejora progresivamente ambos parámetros hasta alcanzar un punto máximo. No obstante, al superar el nivel óptimo, se observa una reducción en la ganancia de peso y consumo de alimento.

a. Ganancia de peso y consumo de alimento

Los resultados positivos en ganancia de peso podrían estar relacionados a la ficocianina y aminoácidos presentes en la espirulina que poseen actividad antioxidante y mejoran el estado de salud (Osman *et al*., 2019), la absorción de nutrientes y por ende la ganancia de peso en pollos de engorde (Park *et al.,*2018b). Hassaan *et al.* (2021) evidenciaron que, al utilizar espirulina en el alimento de tilapias del Nilo, incrementaron la actividad de la amilasa, tripsina, quimotripsina y lipasa mejorando la digestibilidad de los nutrientes, así como el crecimiento y la tasa de conversión alimenticia.

Yuvaraj *et al.* (2003) mencionaron que la naturaleza antioxidante de la espirulina favorece el estado de salud y por tanto del incremento de peso, asimismo Jamil *et al*., (2015) indicaron que la presencia de hierro en la espirulina aporta en la biosíntesis de enzimas metabólicas como el superóxido dismutasa y glutatión reductasa, que son fundamentales en la defensa contra el estrés oxidativo celular.

Por otro lado, los niveles de nutrientes de la espirulina como minerales y vitaminas pueden contribuir a la mejora en el peso vivo, como demostró Venkataraman *et al.* (1994) con dosis 140g/kg y 170g/Kg en dietas de aves de corral

El-Hady *et al.,* (2022) observaron un incremento de peso en dosis de 6% de inclusión de espirulina en la dieta en pollos Cobb 500 mixto a los 35 días edad, mientras que, Jamil *et al.* (2015) reportaron que el peso corporal presentó un incremento significativo al incluir 2, 4 y 8g/Kg de espirulina en la dieta de pollos Cobb 500 a los 28 días de edad. Asimismo, en otros estudios al emplear dosis más bajas en la dieta, como Shinde *et al*. (2018) y Fathi *et al.* (2018), evidenciaron un aumento del peso vivo con la inclusión de 0.06 a 0.08% y con 0.05 a 0.09% a los 38 y 42 días, respectivamente.

Por otro lado, Zahir *et al.* (2019) y Pango (2021) no encontraron diferencias estadísticas ($p>0.05$) en la ganancia de peso al utilizar 0.15, 0.50, 1.0 o 1.5% de espirulina en la dieta en pollos Cobb 500 (28 días de edad) y Ross (21 días de edad) respectivamente. Asimismo, Bonos *et al.* (2016), al emplear 0.5 y 1.0% de espirulina en dietas de pollos a los 42 días de edad tampoco mostraron diferencias ($p>0.05$) con el grupo control.

Khan *et al.* (2020) reportaron un incremento del consumo de alimento con el mayor nivel de inclusión de espirulina (2g/kg espirulina en alimento); sin embargo, Ross y Dominy (1990) evidenciaron una reducción y retraso del crecimiento al utilizar dosis encima del 10% en la dieta. El mecanismo que explica por qué el incremento de espirulina reduce el consumo no está del todo claro, sin embargo, se menciona que la fenilalanina, un aminoácido presente en la espirulina, tiene relación con el retraso en el vaciado del buche, la que produciría una reducción en el consumo del alimento (Furuse *et al.,*1991). La fenilalanina se caracteriza por ser un liberador de la CCK (colecistoquinina), que es una hormona que está involucrada en los mecanismos de la ingestión de alimento lo que provoca la saciedad (Ballinger y Clark, 1994).

Por otro lado, se ha determinado que la espirulina presenta los componentes geosmina y el 2-metilisoborneol, que tienen relación con su sabor y olor desagradables, incluso en concentraciones muy bajas. (Jüttner y Watson, 2007). Aunque, las aves tienen el sentido del gusto poco desarrollado y presentan 24 papilas gustativas en la lengua y 350 en otras partes de la cavidad oral, tienen la capacidad de diferenciar los sabores dulces, salado y amargo (González *et al.,* 2005), lo cual explicaría que a medida que se incrementa las dosis, el consumo y la ganancia de peso disminuya.

Otras investigaciones con espirulina mostraron un incremento ($p<0.05$) en el consumo de alimento al incluir dosis de 0.04, 0.06 y 0.08% en la alimentación de pollos de la línea Vencobb 400Y a los 42 días de edad (Shinde *et al.*, 2018). Sin embargo, Fathi *et al*. (2018), Zahir *et al.* (2019) y Pango (2021), no reportaron diferencias ($p>0.05$) en el consumo de alimento con respecto al control al incluir dosis de 0.09%, 1.0 y 0.15 de espirulina en la dieta de pollos de 38, 28 y 21 días de edad, respectivamente. Por otro lado, Hernández (2020) mostró una disminución en el consumo de alimento al dar una dosis de 0.5% de espirulina en la dieta de pollos Ross 308 criados hasta los 42 días a 36ºC de temperatura ambiental.

La diferencia de los resultados en el consumo de alimento en los diferentes estudios puede estar relacionada con el medio ambiente en donde fueron criados los pollos, manejo, dosis y la calidad de la espirulina empleada (Shinde *et al*., 2018). En base a los datos anteriores se decidió determinar el nivel óptimo para la ganancia de peso. El análisis de regresión cuadrática permitió identificar el nivel óptimo de inclusión de espirulina para maximizar la ganancia de peso sin efectos negativos, estableciéndose en 6.8 g/kg de alimento.

a. Índice de conversión alimenticia e Índice de eficiencia alimenticia europeo

El estudio demostró que los diferentes niveles de inclusión de espirulina evaluados afectaron índice de conversión alimenticia e índice de eficiencia alimenticia europeo en pollos de engorde. El índice de conversión alimenticia e índice de eficiencia alimenticia europeo mostraron comportamientos lineales, siendo inverso para ICA y creciente para IEPE, lo que indica que a medida que aumenta los niveles de la inclusión de espirulina mejora progresivamente ambos parámetros. Shanmugapriya *et al.* (2015a), reportaron diferencias ($p<0.05$) en el ICA cuando utilizaron 0.5 y 1% de espirulina en la dieta en pollos. Asimismo, se reportaron resultados favorables con niveles de 0.2, 0.4 y 0.8% (Jamil *et al.,* 2015), con niveles de 0.5, 1.0 y 1.5% (Zahir *et al.*, 2019), y con 0.05 y 0.07% (Shinde *et al.*, 2018).

Sugiharto *et al.* (2018) evidenciaron que al incluir 1% de espirulina redujo el ICA en pollos de engorde de la línea Lohmann (MB-202) de 21 días. En tanto, cuando se utilizó 0.5 y 1.0% de espirulina no se evidenciaron efectos significativos sobre el ICA en

una crianza de pollos mixta a los 42 días (Bonos *et al*., 2016). Sin embargo, Mirzaie *et al.,* (2018), evidenciaron que dosis de 1% y 2% no afectaron el índice de conversión en pollos de engorde. Estos resultados variables podrían ser atribuidas a la composición del alimento, condiciones de alojamiento y a los sistemas de producción (Zahir *et al.,* 2019).

Park *et al.* (2018b) mostraron que al emplear dosis de hasta 1% de espirulina obtuvieron una tendencia lineal en IEPE de pollos de la línea Ross de 35 días de edad, asimismo Hajati y Zaghari (2019) con dosis de 0.5% reportaron un mejor IEPE ($p>0.05$) en codornices de 35 días. Los nutrientes presentes en la espirulina como aminoácidos, vitaminas, minerales y otros compuestos biológicos contribuyen en el metabolismo de los pollos (Park *et al.,* 2018b).

5.2 Morfometría intestinal

En cuanto a la morfología intestinal, en el estudio se observó un comportamiento lineal hasta el nivel de 10 g/Kg en la profundidad de cripta en yeyuno y relación longitud de vellosidad/profundidad de cripta en yeyuno e íleon. No se observó efecto de tendencia en las variables de altura de vellosidad, ancho de vellosidad en los tres segmentos del intestino delgado, tampoco en la profundidad de cripta en duodeno e íleon.

Estos resultados no coinciden con El-Hady *et al*. (2022), donde observaron un aumento lineal ($P \leq 0,05$) en la longitud de las vellosidades del yeyuno al utilizar una dosis hasta el 6%. Sin embargo, Pango (2021) evaluó la inclusión de espirulina a 0.15% en dieta en pollos Ross a los 21 días y no encontró diferencias significativas ($p>0.05$) en longitud de vellosidad, profundidad de cripta, ancho de vellosidad, ni en la relación longitud de vellosidad/profundidad cripta en yeyuno. Mientras que, Shanmugapriya *et al.* (2015b) evaluaron dosis de 0.5, 1 y 1.5% espirulina en dietas de pollos de engorde reportaron un incremento en LV del yeyuno en comparación con el control. Asimismo, Khan *et al.* (2020) observaron un incremento de LV al utilizar dosis de 0.2% de espirulina.

Por otro lado, Ansari *et al.* (2018) al incluir dosis de 1.5 y 2% en pollos de engorde, reportaron valores más altos para LV/PC en duodeno y yeyuno, sin embargo, no observaron efecto a nivel del íleon con respeto al control. Asmaz y Seyidoglu (2022) al utilizar dosis de 1g/Kg de espirulina en ratas Wistar observaron un aumento de LV/PC en duodeno, asimismo, se mostraron un índice alto de proliferación en las criptas duodenales de Liberkühn, lo que sugiere que el contenido que presenta la espirulina de proteínas y polisacáridos pueden favorecer en el crecimiento de las células epiteliales.

Valores altos en LV/PC indican mejor capacidad de digestión y absorción en el intestino delgado (Vallejos *et al*., 2015, Rubio *et al*., 2010), favoreciendo en el desempeño productivo (Tfaile *et al*., 2020). Además, hay una correlación positiva entre la longitud de la vellosidad y la absorción de nutrientes, además que la PC es un indicador de la salud del intestino, donde criptas más profundas reflejan un mayor recambio celular ante el daño causado por patógenos, toxinas (Tfaile *et al*., 2020; Salim *et al.,* 2013) o radicales libres (Zou *et al*., 2016).

Además, una mayor profundidad de cripta indica una mayor proliferación de enterocitos que formarán parte de la vellosidad. Este proceso puede ser normal o resultar de inflamación por patógenos, lo que afecta el rendimiento productivo al aumentar la demanda de nutrientes para mantener la función intestinal (Uni y Perry, 2006). En el estudio no se observó efecto en la profundidad de cripta.

Estos resultados variables en los estudios, podría estar relacionado con la biodisponibilidad de compuestos bioactivos provenientes de la espirulina, durante el proceso de digestión gastrointestinal en el ave, Donadio *et al.* (2021), sugieren que los alimentos ricos en proteínas en una matriz compiten con las proteínas funcionales de la espirulina por las enzimas proteolíticas. Por otro lado, tiempo de retención del alimento a lo largo del intestino del pollo, sería otro factor, si bien el duodeno y el yeyuno son obviamente los sitios más importantes para la digestión y la absorción de nutrientes, el tiempo de retención a nivel de duodeno es más corto con respecto al yeyuno e íleon

(Svihus e Itani, 2019), lo cual sugiere porque no se observó una respuesta a nivel de duodeno.

Se ha demostrado que la inclusión de espirulina en la dieta promueve el crecimiento de lactobacilos intestinales y mejora la absorción de vitaminas (Mariey *et al*., 2012). Estos efectos se han observado en pollos de engorde (Shanmugapriya *et al*., 2015), además, la espirulina reduce la población de *E. coli* (Alwaleed *et al*., 2021), lo que contribuye a mejorar la morfología intestinal mediante el alargamiento de las vellosidades y el aumento de las células caliciformes (Khan *et al*., 2020).

Asimismo, la espirulina es una fuente de antioxidantes con capacidad de disminuir el estrés oxidativo, que conduce al daño de células y tejidos (Khambualai *et al*., 2009); además, posee efecto antiinflamatorio (Abdel-Daim *et al*., 2015). Se atribuye la presencia de la C-ficocianina que es un compuesto bioactivo de la espirulina con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Chaiklahan *et al*., 2012).

Estos hallazgos sugieren que la espirulina puede optimizar el rendimiento productivo sin afectar negativamente la morfometría intestinal. No obstante, se necesita continuar investigando para comprender con mayor profundidad sus efectos sobre la funcionalidad intestinal y evaluar su impacto a largo plazo en la salud y productividad animal.

VI. CONCLUSIONES

La inclusión de espirulina en la dieta de pollos Cobb 500 mejoró la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia sin afectar negativamente la morfometría intestinal. El nivel óptimo estimado fue de 6.8 g/kg de alimento. Los cambios observados en la relación vellosidad/cripta sugieren una mejor absorción de nutrientes. Estos resultados respaldan su uso como aditivo funcional natural en la producción avícola.

VII. LITERATURA CITADA

1. ***Abdel-Daim MM, Farouk SM, Madkour FF, Azab SS. 2015***. Anti-inflammatory and immunomodulatory effects of *Spirulina platensis* in comparison to Dunaliella salina in acetic acid-induced rat experimental colitis. Immunopharmacol Immunotoxicol 37(2): 126-139. Doi:10.3109/08923973.2014.998368
2. ***Abdulqader G, Barsanti L, Tredici M. 2000.*** Harvest of *Arthrospira platensis* from Lake Kossorom (Chad) and its household usage among the Kanembu. J Appl Phycol 12:493-498. doi: 10.1023/A:1008177925799
3. ***Abudabos A, Alyemni A, Dafalla Y, Khan R. 2018***. The effect of phytogenics on growth traits, blood biochemical and intestinal histology in broiler chickens exposed to Clostridium perfringens challenge. J Appl Poult Res 46(1):691-695. Doi: https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1383258
4. ***Akinmutimi A, Daniel, O, Onabanjo R. 2018.*** Determination of Crude Protein Requirement of Broiler Chickens Placed on Straight/Single Diet. Journal of Animal Science, 96(suppl_3). 291-291. https://doi.org/10.1093/jas/sky404.638
5. ***Alwaleed EA, El-Sheekh M, Abdel-Daim MM & Saber, H. 2021.*** Effects of *Spirulina platensis* and Amphora coffeaeformis as dietary supplements on blood biochemical parameters, intestinal microbial population, and productive performance in broiler chickens. Environ Sci Pollut Res 28(2):1801-1811. Doi:10.1007/s11356-020-10597-3
6. ***Álvarez K. 2009.*** Presencia de residuos de sustancias inhibidoras del crecimiento microbiano en huevos de gallinas destinados al consumo humano

en Lima Metropolitana. Tesis de Médico Veterinario. Lima: Univ. Nac. Mayor de San Marcos. 107 p.

7. ***Andrade LM, Andrade CJ, Dias M, Nascimento CA, Mendes MA. 2018.*** Chorella and Spirulina microalgae as sources of functional food, nutraceuticals and food supplements. An Overview. MOJ Food Bioproc Tech 6(1):45-58. DOI: 10.15406/mojfpt.2018.06.00144
8. ***Ansari MS, Hajati H, Gholizadeh F, Soltani N, Alavi SM. 2018.*** Effect of different levels of *Spirulina platensis* on growth performance, intestinal morphology, gut microflora, carcass characteristics and some blood parameters in broiler chickens. Physiol Res 2:186-197.
9. ***Apajalahti J, Vienola K. 2016***. Interaction between chicken intestinal microbiota and protein digestion. Anim Feed Sci Technol 221:323-330. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.05.004
10. ***Ardoino SM, Toso RE, Toribio MS, Alvarez HL, Mariani EL, Cachau PD, Mancilla MV, Oriani DS. 2017.*** Antimicrobianos como promotores de crecimiento (AGP) en alimentos balanceados para aves: uso, resistencia bacteriana, nuevas alternativas y opciones de reemplazo. Ciencia Veterinaria 19(1): 50-66 DOI: http://dx.doi.org/10.19137/cienvet-20171914
11. ***Asmaz ED, Seyidoglu N. 2022.*** The prevention role of *Spirulina platensis* (Arthrospira platensis) on intestinal health. Food Sci Hum Wellness 11(5): 1342-1346. https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.04.027
12. ***Ayehunie S, Belay A, Baba TW. 1998.*** Inhibition of HIV-1 replication by an aqueous extract of *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*). J. Acquir. Immune Defic Syndr Hum Retrovirol 18:7-12. DOI: 10.1097/00042560-199805010-00002
13. ***Awad WA, Ghareeb K, Böhm J. 2010.*** Effect of Addition of a Probiotic Micro-Organism to Broiler Diet on Intestinal Mucosal Architecture and Electrophysiological Parameters: Addition of Probiotic Micro-Organism to Broiler Diet. J Anim Physiol Anim Nutr 94:486–494. https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2009.00933.x
14. ***Babadzhanov AS, Abdusamatova N, Yusupova FM, Faizullaeva N, Mezhlumyan LG, Malikova MK.*** 2004. Chemical Composition of *Spirulina platensis* Cultivated in Uzbekistan. Chem Nat Compd 40(3):276–279. doi:10.1023/b:conc.0000039141.982

15. ***Ballinger AB, Clark ML. 1994.*** L-phenylalanine releases cholecystokinin (CCK) and is associated with reduced food intake in humans: evidence for a physiological role of CCK in control of eating. Metabolism 43(6):735-738. DOI: 10.1016/0026-0495(94)90123-6
16. ***Baranyiova E, Holman J.*** 1976. Growth of intestinal villi after hatching in fed and fasted chickens. Congress of the European Association of Veterinary Anatomists. (1976): 5 (1): 90-91. doi:10.1111/j.1439-0264.1976.tb00659.x.
17. ***Bartkiene E, Ruzauskas M, Bartkevics V, Pugajeva I, Zavistanaviciute P, Starkute V, Zokaityte E, et al.*** 2020. Study of the antibiotic residues in poultry meat in some of the EU countries and selection of the best compositions of lactic acid bacteria and essential oils against Salmonella enterica. Poult Sci 99(8):4065-4076. DOI: https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.05.002
18. **Becker W. 2004.** 18 microalgae in human and animal nutrition. In Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology (Vol. 312). Wiley Online Library. p 327- 344.
19. ***Belay A, Kato T, Ota Y. 1996.*** Spirulina (Arthrospira): potential application as an animal feed supplement. J Appl Phycol 8:303-311.
20. ***Bensehaila S, Doumandji A, Boutekrabt L, Manafikhi H, Peluso I, Bensehaila K, Kouache A, et al. 2015***. The nutritional quality of *Spirulina platensis* of Tamenrasset, Algeria. African J Biotechnol 14(19):1649-1654. Doi: 110.5897/AJB2015.14414
21. ***Berrocal M. 2019.*** Avicultura principal fuente de proteína animal de Perú: Afectada por Covid-19. Avinews. Asociación Peruana de Avicultura. Perú. [Internet]. Disponible en: https://avinews.com/avicultura-principal-fuente-proteina-animal-peru-afetada-covid-19/. 22/07/2022.
22. ***Berti JO. 2003***. Efeito de diferentes carbohidratos na raçao preinicial de frangos de corte o desempeño e a alometria dos ógaos. Tesis de MSc. Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Sao Pablo - Brasil. pp
23. ***Bonos E, Kasapidou E, Kargopoulos A, Karampampas A, Christaki E, Florou-Paneri P, Nikolakakis I. 2016***. Spirulina as a functional ingredient in broiler chicken diets. South African J Anim Sci 46 (1):94-101. http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v46i1.12
24. ***Cancho-Grande BC, Falcón MG, Gándara JS. 2000.*** El uso de los antibióticos en la alimentación animal: perspectiva actual the use of antibiotics

in animal feeds: an actual perspective o uso Dos antibióticos na alimentación animal: perspectiva actual. CYTA-Journal of Food 3(1):39-47. doi:10.1080/11358120009487647

25. ***Canto F. 2019.*** Actividad prebiótica del diente de león (*taraxacum officinale*) en la alimentación de gallinas ponedoras (hisex brown) durante la etapa de producción. Tesis de Maestro en ciencias en producción animal. Chachapoyas, Perú: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. 138 p.
26. ***Carcelén F, San Martín F, Ara M., Bezada S, Asencios A, Jimenez, R., Santillán et al. 2020.*** Efecto de la inclusión de diferentes niveles de probiótico sobre los parámetros productivos y morfología intestinal en cuyes de engorde (Cavia porcellus). Rev de Investig Vet 31(3): e18735. http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i3.18735
27. ***Cartagena V, Mejía H. 2019.*** Efecto del Enterococcus faecium en el desarrollo y crecimiento intestinal de pollos de engorde. Tesis para Licenciado en Medicina Veterinaria y zootecnia. El Salvador: Universidad de El Salvador. 55p
28. ***Carvalho IT, Santos L. 2016***. Antibiotics in the aquatic environments: a review of the European scenario. Environ Int 94, 736-757. http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2016.06.025
29. ***Castanon J. 2007.*** History of the use of antibiotic as growth promoters in European poultry feeds. Poultry Sci 86(11):2466-2471. Doi: https://doi.org/10.3382/ps.2007-00249.
30. ***Cervantes H. 2007***. La prohibición europea sobre el uso de antibióticos. WATTPoultry.com [Internet]. Disponible en: https://www.wattagnet.com/home/article/15482311/la-prohibicion-europea-sobre-el-uso-de-antibioticos
31. ***Chaiklahan, R., Chirasuwan, N., & Bunnag, B***. 2012. Stability of phycocyanin extracted from *Spirulina sp*.: Influence of temperature, pH and preservatives. Process Biochemistry, 47(4):659-664. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.01.010

32. ***Chamorro G, Salazar M, Gomes de Lima K, Pereira dos Santos C, Ceballos G, Fabila L. 2002.*** Actualización en la farmacología de Spirulina (Arthrospira) un alimento no convencional. Archivos Latinoamericanos de nutrición 52(3): 232-240.
33. ***Chávez LA, López A, Parra JE. 2016.*** Crecimiento y desarrollo intestinal de aves de engorde alimentadas con cepas probióticas. Archivos de zootecnia. 65(249):51-58. [Internet], [30 de setiembre de 2020]. Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/495/49544737008.pdf
34. ***Chen YH, Chang GK, Kuo SM, Huang SY, Hu IC, Lo YL, Shih SR. 2016.*** Well-tolerated Spirulina extract inhibits influenza virus replication and reduces virus-induced mortality. Sci Rep 6:1-11. doi: 10.1038/srep24253
35. Chelakkot Cha, Ghim J, Ryu SH. 2018. Mechanisms regulating intestinal barrier integrity and its pathological implications. Experimental & Molecular Medicine (2018) 50(103): 1-9. https://doi:10.1038/s12276-018-0126-x. [Internet]. Disponible en: https://www.nature.com/articles/s12276-018-0126-x.pdf.
36. ***Cheong DS, Kasim A, Sazili AQ, Hishamuddin OM, Teoh JY. 2015.*** Effect of supplementing spirulina on live performance, carcass composition and meat quality of Japanese quail. Walailak J Sci Technol 13:77-84. doi:10.14456/WJST.2016.8.
37. ***COBB. 2019.*** Guía de manejo. Pollo de engorde. [Internet]. Disponible en: https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/ec35b0ab1e/Broiler-Guide-2019-ESP-WEB_2.22.2019.pdf.
38. ***Cohen Z, Vonshak A, Richmond A. 1987***. Fatty acid composition of Spirulina strains grown under various environmental conditions. Phytochem. 26: 2255-2258. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)84694-4
39. ***Cota-Rubio E, Hurtado-Ayala L, Pérez-Morales E, Alcántara-Jurado L. 2014.*** Resistencia a antibióticos de cepas bacterianas aisladas de animales destinados al consumo humano. ReIbCi 1(1):75-85.
40. ***Dhama K, Tiwari R, Khan R, Chakraborty S, Gopi M. 2014.*** Growth Promoters and Novel Feed Additives Improving Poultry Production and Health, Bioactive Principles and Beneficial Applications: The Trends and Advances-A Review. Int J Pharmacol 10:129-159. Doi: 10.3923/ijp.2014.129.159.

41. ***Diarra MS, Malouin F. 2014.*** Antibiotics in Canadian poultry productions and anticipated alternatives. Front Microbiol 5:282. https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00282
42. ***Dibner JJ, Kitchell ML, Atwell CA, Ivey FJ. 1996***. The effect of dietary ingredients and age on the microscopic structure of the gastrointestinal tract in poultry. J Appl Poult Res 5(1):70-77. https://doi.org/10.1093/japr/5.1.70
43. ***Dibner J, Richards J. 2005.*** Antibiotic growth promoters in agriculture: History and mode of action. Poult Sci 84(4):634–643.
44. ***Dillon J, Phuc A, Dubacq J. 1995***. Nutritional value of the alga Spirulina. Plant in Hum Nutr 77: 32-46. Doi: https://doi.org/10.1159/000424464.
45. ***Donadio G, Santoro V, Dal Piaz F, De Tommasi N. 2021.*** Food matrices affect the peptides produced during the digestion of Arthrospira platensis-based functional aliments. Nutrients 13(11): 3919
46. ***Ducatelle R, Goossens E, Eeckhaut V, Van Immerseel F. 2023.*** Poultry gut health and beyond. Animal Nutrition 13:240-248. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.03.005
47. ***Duke GE. 1986.*** Alimentary canal: anatomy, regulation of feeding, and motility. In Avian physiology. New York. NY: Springer New York. P 269 - 288
48. ***Ensari A, Marsh MN. 2018.*** Exploring the villus. En: Gastroenterol Hepatol; 11(3):181-190. [INTERNET]. Recuperado de: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/-pmc/articles/PMC6040026/pdf/GHFBB-11-181.pdf.
49. ***El-Baz F, El-Senousy W, El-Sayed A, Kamel M. 2013.*** In vitro antiviral and antimicrobial activities of Spirulina platensis extract. Journal of Applied Pharmaceutical Science 3:52–56. DOI: 10.7324/JAPS.2013.31209
50. ***El-Desoky G, Bashandy S, Alhazza I, Al-Othman, Z, Aboul-Soud, M. 2013.*** Improvement of mercuric chloride-induced testis injuries and sperm quality deteriorations by *Spirulina platensis* in rats. PLoS One 8:e59177. doi: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059177
51. ***El-Hady AA, Elghalid OA, Elnaggar AS, El-khalek AE. 2022.*** Growth performance and physiological status evaluation of *Spirulina platensis* algae supplementation in broiler chicken diet. Livest Sci 263:105009. doi: https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105009.

52. ***El-Hady AA, El-Ghalid OAH. 2018.*** *Spirulina platensis* Algae (SPA): A novel poultry feed additive effect of SPA supplementation in broiler chicken diets on productive performance, lipid profile and calcium-phosphorus metabolism. Worlds Poult. Sci. J. 7498:1-7.

53. ***El-Sheekh MM, Daboor SM, Swelim MA & Mohamed S. 2014.*** Production and characterization of antimicrobial active substance from *Spirulina platensis*. Iranian J Microbiol 6(2):112-119. [Internet], [15 de setiembre de 2021]. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4281658/pdf/IJM-6-112.pdf

54. ***Estrada J P, Bescós PB., Del Fresno AV. 2001.*** Antioxidant activity of different fractions of *Spirulina platensis* protean extract. Il farmaco, 56(5-7): 497-500.

55. ***Fallah R, Kiani A, Azarfar A. 2013.*** A review of the role of five kinds of alternatives to in-feed antibiotics in broiler production. Journal of Veterinary Medicine and Animal Health 5(11):317-321. DOI 10.5897/JVMAH2013.0237

56. ***Fathi MA, Namra MMM, Ragab MS, Aly MMM. 2018.*** Effect of dietary supplementation of algae meal (*Spirulina platensis*) as growth promoter on performance of broiler chickens. Egypt Poult Sci J 38(2):375-389. https://epsj.journals.ekb.eg/article_8203_4ee0289dce5e1c9dec59eccf1a4f2f64.pdf

57. ***Ferrufino JC, Taxa L, Angeles G. 1996.*** Histología normal del intestino delgado. Rev Med Hered 7(1):46-57.

58. ***Fuller R. 1989.*** Probiotic in man and animals J. Appl Bacteriol. 66(5):365–378. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1989.tb05105.x

59. ***Furbeyre H, Van Milgen J, Mener T, Gloaguen M, Labussière E. 2017***. Effects of dietary supplementation with freshwater microalgae on growth performance, nutrient digestibility and gut health in weaned piglets. Animal 11: 183-192. doi: 10.1017/S1751731116001543.

60. ***Furuse M, Chol YH, Yang SI, Kita K, Okumura J. 1991***. Enhanced release of cholecystokinin in chickens fed diets high in phenylalanine or tyrosine. Comp Biochem Physiol 99(3): 449-451. https://doi.org/10.1016/0300-9629(91)90031-7

61. ***Gaggìa F, Mattarelli P, Biavati B. 2010***. Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production. Int J Food Microbiol 141:S15-S28. Doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2010.02.031
62. ***Gava MS. 2012.*** Metodologia de morfometria intestinal em frango de corte. Tese de mestrado em Ciências Veterinária na especialidade de Sanidade Avícola. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 61 p.
63. ***Geyra A, Uni Z, Sklan D. 2001.*** Enterocyte dynamics and mucosal development in the posthatch chick. Poult Sci 80(6): 776-782. https://doi.org/10.1093/ps/80.6.776
64. ***Gonzáles S, Icochea E, Reyna P, Guzmán J, Cazorla F, Lúcar J, Carcelén F, San Martín V. 2013***. Efecto de la suplementación de ácidos orgánicos sobre los parámetros productivos en pollos de engorde. Rev investig vet Perú 24(1):32-37.
65. ***González EÁ, Cuevas AC, Vega JLL. 2005.*** Influencia de un estimulante del apetito sobre el consumo de alimento y comportamiento productivo en pollos de engorda. Veterinaria México. 36(2):127-133
66. ***Grond K, Sandercock BK, Jumpponen A, Zeglin LH. 2018.*** The avian gut microbiota: community, physiology and function in wild birds. J Avian Biol 49(11):e01788. https://doi.org/10.1111/jav.01788
67. ***Gružauskas R, Lekavicius R, Raceviciut-Stupeliene R, Šašyte V, Tėvelis, V, Švirmickas GJ. 2004.*** Višiuk broileriu virškinimo procesu optimizavimas simbiotiniais preparatais. Vet. ir Zootech 28(50):51-56.
68. ***Gutiérrez-Salmeán G, Fabila-Castillo L, Chamorro-Cevallos G. 2015.*** Aspectos nutricionales y toxicológicos de spirulina (*arthrospira*). Nutricion hospitalaria 32(1):34-40.
69. ***Habib MAB. 2008.*** Review on culture, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish. Food and agriculture organization of the United Nations. In: Huntington TC, Hasan MR, editors. FAO fisheries and aquaculture circular No. 1034. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 41p.
70. ***Hajati H, Zaghari M. 2019.*** Effects of S*pirulina platensis* on growth performance, carcass characteristics, egg traits and immunity response of japanese quails. J Appl Anim Sci 9(2):347-357.

https://ijas.iaurasht.ac.ir/article_665458_1fceffc34e0171f67120d64e6b85df57.pdf

71. ***Hassaan MS, Mohammady EY, Soaudy MR, Sabae SA, Mahmoud AM, El-Haroun ER. 2021***. Comparative study on the effect of dietary β-carotene and phycocyanin extracted from *Spirulina platensis* on immune-oxidative stress biomarkers, genes expression and intestinal enzymes, serum biochemical in Nile tilapia, Oreochromis niloticus. Fish & Shellfish Immunology 108: 63-72
72. ***Hernandez J. 2020.*** Evaluación de la inclusión de alga espirulina *Arthrospira platensis* en dietas de pollos. Tesis de Grado. Coahila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 93 p.
73. **Holmgren J, Czerkinsky C, Lycke N, Svennerholm AM. 1992.** Mucosal immunity: Implications for vaccine development. Immunobiology, 184: 157-179.
74. ***Holman BW, Kashani A, Malau-Aduli AE. 2012***. Growth and body conformation responses of genetically divergent Australian sheep to spirulina (*Arthrospira platensis*) supplementation. Am J Exp Agric 2:160–173. doi:10.9734/AJEA/2012/992.
75. ***Holman BWB, Malau-Aduli AEO. 2013.*** spirulina as a livestock supplement and animal feed. Journal of animal physiology and animal nutrition 97(4), 615-623. DOI: 10.1111/j.1439-0396.2012.01328.x
76. ***Hoseini SM, Khosravi-Darani K, Mozafari MR. 2013.*** Nutritional and medical applications of spirulina microalgae. Mini-Rev Med Chem 13(8):1231-1237. doi:10.2174/1389557511313080009
77. ***Industria Avícola. 2020.*** Consumo per cápita de productos avícolas en países seleccionados 2019. [Internet]. Disponible en: https://www.industriaavicola-digital.com/industriaavicola/april2020/MobilePagedReplica.action?pm=2&folio=24
78. ***Iji PA, Saki A. Tivey DR. 2001***. Body and intestinal growth of broiler chicks on a commercial starter diet. 1. Intestinal weight and mucosal development. Br Poult Sci 42:505–513. doi: 10.1080/00071660120073151
79. ***Jamil AR, Akanda MR, Rahman MM, Hossain MA, Islam MS. 2015.*** Prebiotic competence of spirulina on the production performance of broiler chickens. J Advanced Vet Anim Res 2(3):304-309. doi:10.5455/javar.2015.b94

80. ***Jüttner F, Watson SB. 2007.*** Biochemical and ecological control of geosmin and 2-methylisoborneol in source waters. Appl Environ Microbiol 73(14): 4395-4406. doi: 10.1128/AEM.02250-06
81. ***Kaoud AH. 2015.*** Effect of *Spirulina platensis* as a dietary supplement on broiler performance in comparison with prebiotics. Scien J Appl Res 1:44-48.
82. ***Khambualai O, Yamauchik L, Tangaweewipt S, Cheva-Isarakul B. 2009***. Growth performance and intestinal histology in broiler chicks and with dietary chitosan. Vet Res 12:123–129. doi: https://doi.org/10.1080/00071660903247182
83. ***Khan S, Mobashar M, Mahsood FK, Javaid S, Abdel-Wareth AA, Ammanullah H, Mahmood A. 2020***. spirulina inclusion levels in a broiler ration: evaluation of growth performance, gut integrity, and immunity. Trop Anim Health Prod 52(6):3233-3240. doi:10.1007/s11250-020-02349-9
84. ***Kharde S, Shirbhate R, Bahiram K, Nipane S. 2012.*** Effect of spirulina supplementation on growth performance of broilers. Indian J Vet Pathol 21:66–69. [Internet]. Disponible en: https://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7issue1S/PartAZ/SP-7-1-912-155.pdf
85. ***Koutsos E. 2006***. Nutrition and gut-associated inmunity. In 33rd Annual Carolina Poultry Nutrition Conference. Sheraton Imperial Hotel, Research Triangle Park, North Carolina. p 29-33.
86. ***Kovac DJ, Simeiunovic JB, Babic OB, Misan AC, Milovanovic IL. 2013.*** Algae in food and feed. Food Feed Res 40 (1):21-31.
87. ***Kuhad A, Tirkey N, Pilkhwal S, Chopra K. 2006.*** Renoprotective effect of *Spirulina fusiformis* on cisplatin-induced oxidative stress and renal dysfunction in rats. Renal failure 28(3):247-254. doi:https://doi.org/10.1080/08860220600580399
88. ***Kumar V, Bhatnagar AK, Srivastava JN. 2011.*** Antibacterial activity of crude extract of *Spirulina platensis* and its structural elucidation of bioactive compound. J Med Plant Res 5 (32):7043-7048. doi:10.5897/jmpr11.1175
89. ***Kuttappan VA, Berghman LR, Vicuña LA, Latorre JD, Menconi A, Wolchok JD, Wolfenden AD et al. 2015.*** Poultry enteric inflammation model with dextran sodium sulfate mediated chemical induction and feed restriction in broilers. Poult Sci 94:1220–1226 http://dx.doi.org/10.3382/ps/pev114

90. ***Lee KW, Hong YH, Lee SH, Jang SI, Park MS, Bautista DA, Ritter GD et al. 2012.*** Effects of anticoccidial and antibiotic growth promoter programs on broiler performance and immune status. Research in veterinary science, 93(2), 721-728. https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2012.01.001
91. ***Li X, Wu X, Ma W, Xu H, Chen W, Zhao F. 2023.*** Feeding Behavior, Growth Performance and Meat Quality Profile in Broiler Chickens Fed Multiple Levels of Xylooligosaccharides. Animals, 13(16), 2582. https://doi.org/10.3390/ani13162582
92. ***Liu L, Li W, Sun C, Kang S, Li J, Luo, X, Qin S, Bin L. 2020. Phycocyanin*** ameliorates radiation-induced acute intestinal toxicity by regulating the effect of the gut microbiota on the TLR4/myd88/NF-κB pathway. Journal of Parenteral and Enteral Nutrition, 44(7): 1308-1317. https://doi.org/10.1002/jpen.1744
93. ***Lupatini AL, Colla LM, Canan C, Colla E. 2017.*** Potential application of microalga *Spirulina platensis* as a protein source. J Sci Food Agric 97(3):724-732. doi: 10.1002/jsfa.7987
94. ***Madeira M, Cardoso C, Lopes P, Coelho D, Afonso C. 2017.*** Microalgae as feed ingredients for livestock production and meat quality: A review. Livest Sci 205:111-121. doi: 10.1016/j.livsci.2017.09.020.
95. ***Manzetti S, Ghisi R. 2014.*** The environmental release and fate of antibiotics. Mar Pollut Bull 79(1-2):7-15. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.01.005
96. ***Mariey YA, Samak HR, Ibrahem MA. 2012.*** Effect of using *Spirulina platensis* algae as a feed additive for poultry diets: 1- productive and reproductive performance of local laying hens. Egyptian Poultry Science Journal: 32, 201–215
97. ***Marshal B, Levy S. 2011***. Food Animals and Antimicrobials: Impacts on Human Health. Clinical Microbiology Reviews, 24(4), 718–733. [Internet]. Disponible en: https://cmr.asm.org/content/24/4/718?fbclid=IwAR2Hw3ICxlGHKEYDkP1XLy1eVFSAyMUFD9lZuzKhamKuGQ6fsK8Gaj2y1KQ
98. ***Martínez L, Ramírez L. 2017.*** Estado actual de las empresas productoras de microalgas destinadas a alimentos y suplementos alimenticios en América

Latina. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos 8 (2): 130-147 http://oaji.net/articles/2017/4924-1517430955.pdf

99. ***Megías M, Molist P, Pombal MA. 2019.*** Atlas de histología vegetal y animal. Técnicas histológicas. [Internet]. Disponible en: http://mmegias.webs.uvigo.es/6-tecnicas/5-general.php

100. ***Mehdi Y, Létourneau-Montminy MP, Gaucher ML, Chorfi Y, Suresh G, Rouissi T, Brar SK et al. 2018***. Use of antibiotics in broiler production: Global impacts and alternatives. Anim Nutr 4(2):170-178. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.03.002

101. ***Mendiola JA, Jaime L. Santoyo S. 2007.*** Screening of functional compound in supercritical fluid extracts form *Spirulina platensis*. Food Chem. 102, 1357-1367.

102. ***[MIDAGRI] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. 2022.*** Producción y Comercialización de Productos Avícolas. 2022. Boletín estadístico mensual. Perú. [Internet]. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2978333/Bolet%C3%ADn%20sobre%20producci%C3%B3n%20y%20comercializaci%C3%B3n-av%C3%ADcola-%20ENERO%202022.pdf. 22/07/2022

103. ***[MIDAGRI] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. 2023.*** Boletín Estadístico Mensual de la Producción y Comercialización de Productos Avícolas. Mes Febrero. Dirección General de Estadística, seguimiento y Evaluación de Políticas, Dirección de Estadística e Información Agraria. Lima. Peru. [Internet]. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4483028/Bolet%C3%ADn%20sobre%20producci%C3%B3n%20y%20comercializaci%C3%B3n-av%C3%ADcola-%20FEBRERO%202023.pdf?v=1682529595

104. ***Mirzaie S, Zirak-Khattab F, Hosseini SA, Donyaei-Darian H. 2018.*** Effects of dietary spirulina on antioxidant status, lipid profile, immune response and performance characteristics of broiler chickens reared under high ambient temperature. Asian-Australasian J Anim Sci 31(4):556-563. doi: 10.5713/ajas.17.0483

105. ***Molina D. 2022***. Influencia del uso de aditivos fitogénicos sobre la salud intestinal y productividad de pollos de engorde. Trabajo Académico Segunda

de Especialización. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 90 p.

106. ***Momo C, Adam M, Herve T, Narcisse V, Ferdinand N. 2021***. Effects of spiruline (*Spirulina platensis*) upplementation on Oxidative Stress Markers, Biochemical Characteristics, and Hematological Parameters in Rabbit (Oryctolagus cuniculus) Does. Asian J Agricult Rural Develop 11(2):163-170. doi: 10.18488/journal.ajard.2021.112.163.170

107. ***Mora SC. 2012.*** Evaluación de spirulina en la alimentación de pollos broiler en la Ponderosa Km 7 1/2 parroquia Puerto Limón de Santo Domingo de los Tsachilas. Tesis para obtener el título profesional. Latacunga:Universidad Técnica de Cotopaxi. 87 p.

108. ***Mühling M, Belay A & Whitton BA. 2005.*** Variation in fatty acid composition of Arthrospira (Spirulina) strains. J Appl Phycol 17(2):137-146. doi: 10.1007/s10811-005-7213-9

109. ***Osman A, Abd-Elaziz S, Salama A, Eita AA, Sitohy M. 2019.*** Health protective actions of phycocyanin obtained from an Egyptian isolate of *Spirulina platensis* on albino rats. EurAsian J BioSciences 13: 105–112.

110. ***Pango Majuan, AP. 2021.*** Efecto de la espirulina (*Arthrospira platensis*) en parámetros productivos, morfometría intestinal y de tibia en pollos de engorde. Tesis Ingeniero Zootecnista. Lima:Universidad Nacional Agraria La Molina. 65 p.

111. ***Panyakampol J, Cheevadhanarak S, Sutheeworapong S, Chaijaruwanich J, Senachak J, Siangdung W. Paithoonrangsarid K. 2014.*** Physiological and Transcriptional Responses to High Temperature in Arthrospira (Spirulina) platensis C1. Plant Cell Physiol. 56(3):481-96

112. ***Park WS, Kim HJ, Li M, Lim DH, Kim J, Kwak SS, Ahn MJ. 2018a***. Two classes of pigments, carotenoids and c-phycocyanin, in spirulina powder and their antioxidant activities. Molecules 23(8):2065. DOI: 10.3390/molecules23082065

113. ***Park J, Lee S, Kim I. 2018b.*** Effect of dietary spirulina (Arthrospira) platensis on the growth performance, antioxidant enzyme activity, nutrient digestibility, cecal microflora, excreta noxious gas emission, and breast meat quality of broiler chickens. Poult Sci 97(7):2451-2459. Doi: 10.3390/molecules23082065

114. ***Piñero J, Bermejo P, Villar del Fresno A. 2001.*** Antioxidant activity of different fractions of *Spirulina platensis* protean extract. Il Farmaco 56: 497-500. doi: 10.1016/s0014-827x (01)01084-9

115. ***Plaza J, Gomez C, Fontana L, Gil A. 2014.*** Modulation of immunity and inflammatory gene expression in the gut, in inflammatory diseases of the gut and in the liver by probiotics. World J Gastroenterol 20: 15632-15649. doi: 10.3748/wjg.v20.i42.15632

116. ***Podolsky DK. 1993.*** Regulation of intestinal epithelial proliferation: a few answers, many questions. Animal Journal Physiologic-Gastrointestinal and liver Physiology 264:179-186.

117. ***Pulz O, Gross W. 2004.*** Valuable products from biotechnology of microalgae. Appl Microbiol Biotechnol 65:635-648. Doi: 10.1007/s00253-004-1647-x.

118. ***R Core Team. 2021***. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: https://www.R-project.org/.

119. ***Ramírez-Rodrigues MM, Estrada-Beristain C, Metri-Ojeda J, Pérez-Alva A, Baigts-Allende DK. 2021.*** *Spirulina platensis* protein as sustainable ingredient for nutritional food products development. sustainability 13(12):6849. doi:10.3390/su13126849

120. ***Ravindran V, Abdollahi MR. 2021.*** Nutrition and digestive physiology of the broiler chick: State of the art and outlook. Animals 11(10):2795. https://doi.org/10.3390/ani11102795

121. ***Ross E, Dominy W. 1990.*** The nutritional value of dehydrated, blue-green algae (*Spirulina platensis*) for poultry. Poult Sci 69(5):794-800. Doi: 10.3382/ps.0690794.

122. ***Rubio LA, Ruiz R, Peinado MJ y Echavarri A. 2010.*** Morphology and enzymatic of the small intestinal mucosa of Iberian pigs as compared with a lean pig strain. J Anim Sci 88: 3590-3597. doi: 10.2527/jas.2010-3040

123. ***Ruiz Real AV. 2020.*** Efecto de una mezcla de extractos de plantas sobre indicadores de integridad intestinal y parámetros productivos en pollo de engorde. Tesis de Maestría. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 118 p.

124. ***Sarada DV, Sreenath Kumar C, Rengasamy R. 2011***. Purified C-phycocyanin from *Spirulina platensis* (Nordstedt) Geitler: a novel and potent agent against drug resistant bacteria. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 27(4): 779-783. https://doi.org/10.1007/s11274-010-0516-2

125. ***Salim HM, Kang HK, Akter N, Kim DW, Kim J. H, Kim MJ, Kim WK. 2013.*** Supplementation of direct-fed microbials as an alternative to antibiotic on growth performance, immune response, cecal microbial population, and ileal morphology of broiler chickens. Poult Sci 92(8):2084-2090. doi:10.3382/ps.2012-02947

126. ***Salvo-Romero E, Alonso-Cotoner C, Pardo-Camacho C, Casado-Bedmar M, Vicario M. 2015***. Función barrera intestinal y su implicación en enfermedades digestivas. In: Rev Esp Enferm Dig; 107 (11): 686-696. [Internet]. Disponible en: http://scielo.isciii.es/pdf/diges/v107n11/es_revision.pdf

127. ***Santiago-Morales IS, Trujillo-Valle L, Márquez-Rocha FJ, Hernández JFL. 2018.*** Tocopherols, phycocyanin and superoxide dismutase from microalgae: As potential food antioxidants. Applied Food Biotechnology, 5(1), 19-27. https://doi.org/10.22037/afb.v5i1.17884

128. ***Santos VS. 2017.*** Tinción hematoxilina-eosina. Tesis de Maestría. Madrid, España: Univ. Nacional de Educación a Distancia. 51 p.

129. ***Selim S, Hussein E, Abou-Elkhair R. 2018.*** Effect of *Spirulina platensis* as a feed additive on laying performance, egg quality and hepatoprotective activity of laying hens. Eur Poult Sci 82:14-24. DOI: 10.1399/eps.2018.227

130. ***Shanmugapriya B, Babu SS, Hariharan T, Sivaneswaran S, Anusha M.B. & Raja PU. 2015a.*** Synergistic effect of *Spirulina platensis* on performance and gut microbial load of broiler chicks. Indo-Asian J. Multidisc. Res. 1:149- 155. https://krishikosh.egranth.ac.in/displaybitstream?handle=1/5810044500&fileid=c5c7bbf0-bcd5-4b96-ac21-d9dbd71449d7

131. ***Shanmugapriya B, Babu SS, Hariharan T, Sivaneswaran S, Anusha MB. 2015b.*** Dietary administration of *Spirulina platensis* as probiotics on growth performance and histopathology in broiler chicks. Int. J. Recent Sci. Res. 6(2):2650-2653. http://www.recentscientific.com/sites/default/files/1949_1.pdf

132. ***Shinde SR, Patil RA, Padghan PV. 2018.*** Effect of spirulina supplementation on growth performance of broilers. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 1: 3265-3267. https://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7issue1S/PartAZ/SP-7-1-912-155.pdf

133. ***Siegel PB. 2014.*** Evolution of the modern broiler and feed efficiency. Annu. Rev. Anim. Biosci. 2(1):375-385. doi:10.1146/annurev-animal-022513-114132

134. ***Sili C, Torzillo G & Vonshak A. 2012.*** Arthrospira (Spirulina). In: Ecology of cyanobacteria II. Springer, Dordrecht. pp. 677-705. (verificar modelo APA). https://www.researchgate.net/profile/Giuseppe-Torzillo/publication/286196496_Arthrospira_Spirulina/links/566ea8ed08ae1a797e406ef2/Arthrospira-Spirulina.pdf

135. ***Šimkus A, Šimkienė A, Černauskienė J, Kvietkutė N, Černauskas A, Paleckaitis M, Kerzienė S. 2013***. The effect of blue algae *Spirulina platensis* on pig growth performance and carcass and meat quality. Vet ir Zootech 61(83): 70-74.

136. ***Sinovec Z, Markovic R. 2005***. Using Prebiotic in Poultry Nutrition. In: Biotechnology in Animal Husbandry. 21(5-6):235-239.

137. ***Sklan D. 2001***. Development of the digestive tract of Poultry. World's Poultry Science Journal, 57(4), 415-428.

138. ***Sorum H, Sunde M. 2001.*** Resistance to antibiotics in the normal flora of animals. Veterinary research, 32(3-4), 227-241. DOI: 10.1051/vetres:2001121 https://www.vetres.org/articles/vetres/pdf/2001/03/v1308.pdf?access=ok

139. ***Sugiharto S, Yudiarti T, Isroli I, Widiastuti E. 2018***. Effect of feeding duration of *Spirulina platensis* on growth performance, haematological parameters, intestinal microbial population and carcass traits of broiler chicks. S Afr J Anim Sci 48(1):98-107. DOI:10.4314/sajas.v48i1.12

140. ***Svihus B. 2014.*** Function of the digestive system. J Appl Poult Res 23(2):306-314. https://doi.org/10.3382/japr.2014-00937

141. ***Svihus B and Itani, K. 2019***. Intestinal passage and its relation to digestive processes. Journal of Applied Poultry Research 28(3): 546-555. https://doi.org/10.3382/japr/pfy027

142. ***Tavernari FDC, Roza LF, Surek D, Sordi C, Silva ML, Albino LFT, Boiago MM. 2018***. Apparent metabolisable energy and amino acid digestibility of microalgae *Spirulina platensis* as an ingredient in broiler chicken diets. British poultry science 59(5):562-567. doi:10.1080/00071668.2018.1496401

143. ***Tavernari F, Salguero S, Albino LFT, Rostagno H. 2008.*** Nutrición, patología y fisiología digestiva en pollos: Aspectos prácticos. Departamento de Zootecnia. Universidad Federal de Vicosa. Vicosa. Brasil. XXIV Curso de especialización FEDNA. P 31-45. [Internet]. Disponible en: https://produccion-animal.com.ar/produccion_aves/enfermedades_aves/87-nutricion.pdf

144. ***Tfaile SM, Moraes JE, Budiño FE, Soares DF, Sitanaka NY, Duarte KM, Kakimoto SK, et al. 2020***. Alternatives to the use of antibiotics for laying hens in growing phase. S Afr J Anim. Sci 50(4): 553-563. doi: http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v50i4.7

145. **Thouvenelle ML, Haynes JS, Reynolds DL**. 1995. Astrovirus infection in hatching turkey: histologic, morphometric, and ultrastructural findings. Avian Diseases 39: 328-336

146. ***Tizard I. 1982.*** Immunity at body surfaces. An introduction to veterinary immunology. pp 154-164.

147. ***Tomaselli L. 1997***. Morphology, ultrastructure and taxonomy of Arthrospira (Spirulina) maxima and *Arthospira* (Spirulina) *platensis*. In Vonshak A., ed. *Spirulina platensis* (Arthrospira): Physiology, cellbiology and biotechnology. London, Taylor and Francis. pp. 1 – 16.

148. ***Tolentino C, Icochea E, Reyna P, Valdivia R. 2008.*** Influencia de la temperatura y humedad ambiental del verano e invierno sobre parámetros productivos de pollos de carne criados en la ciudad de Lima. Rev de Investig Vet del Peru 19(1): 9-14.

149. ***Underwood W, Raymond A.2020***. AVMA guidelines for the euthanasia of animals: 2020 edition. Retrieved on March, 2013(30): 2020-1.

150. ***Uni Z, Perry GC. 2006.*** Early Development of Small Intestinal Function. Avian Gut Function in Health and Disease 29-42. doi:10.1079/9781845931803.0029

151. ***Uni Z, Noy Y, Sklan D. 1995.*** Posthatch changes in morphology and function of the small intestine in heavy- and light-strain chicks. Poult. Sci. 74:1622-1629. https://doi.org/10.3382/ps.0741622

152. ***Uni Z, Noy Y, Sklan D. 1996***. Development of the Small Intestine in Heavy and Light Strain Chicks before and after Hatching. Br. Poult. Sci. 1996, 37: 63–71.

153. ***Uni Z, Platin R, Sklan D. 1998.*** Cell proliferation in chicken intestinal epithelium occurs both in the crypt and along the villus. J Comp Physiol, 168:241-247.

154. Vadiraja,BB, Madyastha KM. 2000. C-phycocyanin: a potent peroxyl radical scavenger in vivo and in vitro. Biochem Biophys Res Commun, 275: 20-25. https://doi.org/10.1006/bbrc.2000.3270

155. ***Vallejos D, Carcelén F, Jiménez R, Perales R, Santillán G, Ara M, Quevedo W, et al., 2015.*** Efecto de la Suplementación de Butirato de Sodio en la Dieta de Cuyes (Cavia porcellus) de Engorde sobre el Desarrollo de las Vellosidades Intestinales y Criptas de Lieberkühn. Rev de Investig Vet del Peru 26(3): 395-403. doi: http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v26i3.11186.

156. ***Vásquez CM. 2019.*** Evaluación de diferentes niveles de un simbiótico comercial en dietas de pollos de carne. Tesis de grado de ingeniero zootecnista. Lima, Perú: Universidad Nacional La Agraria La Molina. 68 p.

157. ***Velten S, Neumann C, Bleyer M, Gruber-Dujardin E, Hanuszewska M, Przybylska-Gornowicz B & Liebert F. 2018.*** Effects of 50 percent substitution of soybean meal by alternative proteins from Hermetia illucens or *Spirulina platensis* in meat-type chicken diets with graded amino acid supply. Open Journal of Animal Sciences, 8(02): 119-136. Doi: 10.4236/ojas.2018.82009. https://www.scirp.org/pdf/OJAS_2018041014431104.pdf

158. ***Venkataraman LV, Somasekaran, T, Becker EW. 1994***. Replacement value of blue-green alga (*Spirulina platensis*) for fishmeal and a vitamin-mineral premix for broiler chicks. Br Poult Sci 35(3): 373-381. DOI: 10.1080/00071669408417702

159. ***[WHO] World Health Organization. 2003.*** Guidelines for safe recreational water environments: coastal and fresh waters. Vol 1. World Health Organization. Printed in Malta. 136 p

160. ***Wu Y, Zhou Y, Lu C, Ahmad H, Zhang H, He J, Zhang L & Wang, T. 2016***. Influence of butyrate loaded clinoptilolite dietary supplementation on growth performance, development of intestine and antioxidant capacity in broiler chickens. PloS one 11(4):1-15. doi:10.1371/journal.pone.0154410

161. ***Yuvaraj N. Reddy BS, Babitha V, Sabu MC, Ramnath V, Philomina PT. 2003.*** Tissue antioxidative status of broiler chicken fed with spirulina and natural carotenoids. [Internet]. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20033143574

162. ***Zahir U, Anwarul Haque B, Maksuda B, Mahfui UP. 2019.*** Effect of dietary supplement of algae (S*pirulina platensis*) as an alternative to antibiotics on growth performance and health status of broiler chickens. Int. J. Poult. Sci 18:576-584. DOI: 10.3923/ijps.2019.576.584 https://docsdrive.com/pdfs/ansinet/ijps/2019/576-584.pdf

163. ***Zhang, F, Man YB, Mo WY, Wong MH. 2020.*** Application of spirulina in aquaculture: A review on wastewater treatment and fish growth. Rev Aquac 12(2):582-599. doi: https://doi.org/10.1111/raq.12341.

164. ***Zuidhof MJ, Schneider BL, Carney VL, Korver DR, & Robinson, F. E. 2014.*** Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. Poultry science, 93(12) :2970-2982. Doi :10.3382/ps.2014-04291.

165. ***Zou Y, Xiang Q, Wang J, Peng J, Wei H. 2016.*** Oregano essential oil improves intestinal morphology and expression of tight junction proteins associated with modulation of selected intestinal bacteria and immune status in a pig model. BioMed Res Int 2016:1-11. Doi: http://dx.doi.org/10.1155/2016/5436738

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Registro sanitario del producto Espirulina

PERÚ Ministerio de la Producción

SANIPES Organismo Nacional de Sanidad Pesquera

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

PROTOCOLO TÉCNICO PARA REGISTRO SANITARIO DE PRODUCTOS PESQUEROS Y ACUÍCOLAS (DESHIDRATADO – IMPORTADO)

N° PTRSI-062-23-SANIPES

EMITIDO A: **EXPEDIENTE: 082.23.RS**

RAZÓN SOCIAL: QINGDAO HUINENG BIOTECH CO., LTD.
DIRECCIÓN LEGAL: A1 #411 QINGDAO INDUSTRIAL TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE, NO. 17 SONGYUAN ROAD, CHENGYANG DISTRICT, QINGDAO CITY, SHANDONG PROVINCE, CHINA.
ESTABLECIMIENTO/PLANTA PRODUCTOR: PLANTA DE PRODUCTOS HIDROBIOLOGICOS **UBICACIÓN:** ROOM 519, OFFICE BUILDING, MANAGEMENT COMMITTEE, NO. 168, LONGHAI ROAD, HETAO STREET, CHENGYANG DISTRICT, QINGDAO CITY, SHANDONG, CHINA (JY13702140262729).
REPRESENTANTE LEGAL: GUO QING XIAO

IMPORTADOR: LEVACPERU E.I.R.L.
ESTABLECIMIENTO/ALMACÉN: CALLE SAN EUGENIO MZ. V2 LOTE 29, URB. SAN DIEGO 1RA ETAPA VIPOL, DISTRITO DE SAN MARTIN DE PORRES, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LIMA, PERÚ.
REPRESENTANTE LEGAL: DIOGENES PEÑA LOPEZ

NOMBRE DEL PRODUCTO	REGISTRO SANITARIO
ESPIRULINA EN POLVO* ESPECIE: *Spirulina platensis* ENVASADO EN BOLSA DE ALUMINIO Y BOLSA DE PE Y EMPACADO EN TAMBOR DE CARTÓN. PESO NETO: 25 Kg. PRODUCTO SIN ADITIVOS TIEMPO DE VIDA ÚTIL: 02 AÑOS (*) PRODUCTO REGISTRADO COMO COMO MATERIA PRIMA PARA OTRAS INDUSTRIAS COMO INDUSTRIA ALIMENTARIA, FARMACÉUTICA, ENTRE OTROS.	**RSPIQHCHDH0123SANIPES**

El Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (SANIPES) emite el presente protocolo técnico para registro sanitario de productos pesqueros y acuícolas, bajo las condiciones siguientes:

1. La empresa y su representante legal son responsables, solidariamente, que los productos descritos son elaborados y comercializados en condiciones sanitarias, adecuados para el consumo humano y apropiadamente rotulados.
2. El envase del producto debe consignar el registro sanitario otorgado por el SANIPES, el lote de fabricación y la fecha de vencimiento del producto.
3. Cualquier cambio con respecto al envase, contenido, presentación o etiquetado debe ser notificado al SANIPES, para incorporar dicho cambio al registro.
4. En el etiquetado se debe consignar la especie que se emplea en el producto, no se permite la declaración de todas las especies en la etiqueta.
5. La empresa está obligada a etiquetar o rotular el (los) producto(s), cuyo registro sanitario se otorga, con arreglo a lo establecido en el Título XII. DEL ETIQUETADO O ROTULADO de la Norma Sanitaria para las Actividades Pesqueras y Acuícolas, aprobada por Decreto Supremo N° 040-2001-PE.
6. El registro sanitario está sujeto a vigilancia y control sanitario continuo y permanente por parte del SANIPES.
7. Cabe la revocación del presente protocolo, cuando sobrevenga cualquiera de los presupuestos establecidos por el Texto Único Ordenado de la Ley N° 27444, Ley de Procedimiento Administrativo General, aprobado mediante Decreto Supremo N° 004-2019-JUS, sin perjuicio de las sanciones y acciones legales que correspondan, establecidas en la misma Ley.

Lima, 21 de marzo de 2023

2CE9A9B0F22C

FIRMA DIGITAL
Firmado digitalmente por: BARRENECHEA CURO Jessica Susan FAU 20606429650 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 22/03/2023 16:43:21-0500

Firmado digitalmente por: FLORES ANAYA Santos Maximino FAU 20606429650 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 21/03/2023 17:21:23-0500

Anexo 2. Pesaje de semanal de los pollos de engorde de la línea Cobb 500



Anexo 3. Preparación de dietas en mezcladora capacidad 80kg



Anexo 4. Distribución de los tratamientos



Anexo 5. Análisis de varianza de los parámetros productivos sometidos a cuatro niveles de espirulina (*Arthrospira platensis*)

Parámetros Productivos	FV	gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	*F-value*	*p-value*	*Sig.*
Consumo de Alimento (CA)	Bloques	5	60713	12143	0.584	0.71230	*n.s.*
	Spirulina	3	196499	65500	3.149	0.05620	*n.s.*
	Spirulina: Lineal	1	16848	16848	0.810	0.38230	*n.s.*
	Spirulina: Cuadrático	1	163627	163627	7.866	0.01330	*
	Residuales	15	312010	20801			
	Total	**23**	**569222**	**24749**			
Ganancia de Peso (GP)	Bloques	5	13402	2680	0.548	0.73774	*n.s.*
	Spirulina	3	89456	29819	6.094	0.00638	**
	Spirulina: Lineal	1	46221	46221	9.445	0.00773	**
	Spirulina: Cuadrático	1	39600	39600	8.092	0.01230	*
	Residuales	15	73402	4893			
	Total	**23**	**176260**	**7663**			
Índice de Conversión Alimenticia (ICA)	Bloques	5	0.014614	0.002923	1.472	0.2566	*n.s.*
	Spirulina	3	0.022449	0.007483	3.769	0.0338	*
	Spirulina: Lineal	1	0.021696	0.021696	10.927	0.0048	**
	Spirulina: Cuadrático	1	0.000667	0.000667	0.336	0.5708	*n.s.*
	Residuales	15	0.029782	0.001985			
	Total	**23**	**0.066845**	**0.00291**			
Índice de Eficiencia Productivo Europeo (IEPE)	Bloques	5	2182	436	0.240	0.9385	*n.s.*
	Spirulina	3	10876	3625	1.993	0.1584	*n.s.*
	Spirulina: Lineal	1	9984	9984	5.489	0.0333	*
	Spirulina: Cuadrático	1	674	674	0.370	0.5519	*n.s.*
	Residuales	15	27286	1819			
	Total	**23**	**40344**	**1754**			

Anexo 6. Análisis de varianza de la morfometría intestinal del duodeno sometido a cuatro niveles de espirulina (*Arthrospira platensis*)

Duodeno	FV	gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	*F-value*	*p-value*	*Sig.*
Longitud de vellosidad (L)	Bloques	5	318296	63659	3.464	0.0280	*
	Espirulina	3	247162	82387	4.483	0.0195	*
	Espirulina: Lineal	1	73850	73850	4.019	0.0634	*n.s.*
	Espirulina: Cuadrático	1	5657	5657	0.308	0.5872	*n.s.*
	Residuales	15	275646	18376			
	Total	**23**	**841104**	**36570**			
Ancho de vellosidad (A)	Bloques	5	626	125.20	0.436	0.817	*n.s.*
	Espirulina	3	82	27.33	0.096	0.961	*n.s.*
	Espirulina: Lineal	1	5	5.00	0.016	0.901	*n.s.*
	Espirulina: Cuadrático	1	12	12.00	0.042	0.841	*n.s.*
	Residuales	15	4310	287.33			
	Total	**23**	**5018**	**218.17**			
Profundidad de Cripta (PC)	Bloques	5	2061	412.20	1.187	0.361	*n.s.*
	Espirulina	3	1382	460.67	1.326	0.303	*n.s.*
	Espirulina: Lineal	1	38	38.00	0.109	0.746	*n.s.*
	Espirulina: Cuadrático	1	74	74.00	0.212	0.652	*n.s.*
	Residuales	15	5210	347.33			
	Total	**23**	**8653**	**376.22**			
Relación Longitud de vellosidad / Profundidad de Cripta (L/PC)	Bloques	5	2.17	0.434	0.179	0.966	*n.s.*
	Espirulina	3	7.31	2.437	1.006	0.417	*n.s.*
	Espirulina: Lineal	1	7.17	7.170	2.961	0.106	*n.s.*
	Espirulina: Cuadrático	1	0.00	0.000	0.000	0.994	*n.s.*
	Residuales	15	36.33	2.422			
	Total	**23**	**45.81**	**1.992**			

Anexo 7. Análisis de varianza de la morfometría intestinal del yeyuno sometido a cuatro niveles de espirulina (*Arthrospira platensis*)

Yeyuno	FV	gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	*F-value*	*p-value*	*Sig.*
Longitud de vellosidad (L)	Bloques	5	24254	4851	0.610	0.6940	*n.s.*
	Espirulina	3	11684	3895	0.490	0.6940	*n.s.*
	Espirulina: Lineal	1	1127	1127	0.142	0.7120	*n.s.*
	Espirulina: Cuadrático	1	1723	1723	0.217	0.6480	*n.s.*
	Residuales	15	119230	7949			
	Total	**23**	**155168**	**6746**			
Ancho de vellosidad (A)	Bloques	5	343.9	68.78	0.49	0.779	*n.s.*
	Espirulina	3	240.5	80.17	0.571	0.643	*n.s.*
	Espirulina: Lineal	1	34.3	34.30	0.244	0.628	*n.s.*
	Espirulina: Cuadrático	1	45.8	45.80	0.326	0.577	*n.s.*
	Residuales	15	2106.1	140.41			
	Total	**23**	**2690.5**	**116.98**			
Profundidad de Cripta (PC)	Bloques	5	1263.9	252.78	1.507	0.2461	*n.s.*
	Espirulina	3	2578.7	859.57	5.124	0.0123	*
	Espirulina: Lineal	1	2465.4	2465.40	14.698	0.0016	**
	Espirulina: Cuadrático	1	25.3	25.30	0.151	0.7030	*n.s.*
	Residuales	15	2516.1	167.74			
	Total	**23**	**6358.7**	**276.47**			
Relación Longitud de vellosidad / Profundidad de Cripta (L/PC)	Bloques	5	7.284	1.457	2.380	0.0886	*n.s.*
	Espirulina	3	16.628	5.543	9.056	0.0012	**
	Espirulina: Lineal	1	15.925	15.925	26.020	0.0001	***
	Espirulina: Cuadrático	1	0.702	0.702	1.146	0.3013	*n.s.*
	Residuales	15	9.181	0.612			
	Total	**23**	**33.093**	**1.439**			

Anexo 8. Análisis de varianza de la morfometría intestinal del íleon sometido a cuatro niveles de espirulina (*Arthrospira platensis*)

Íleon	FV	gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	*F-value*	*p-value*	*Sig.*
Longitud de vellosidad (L)	Bloques	5	59500	11900	1.428	0.2707	*n.s.*
	Espirulina	3	32956	10985	1.318	0.3054	*n.s.*
	Espirulina: Lineal	1	30942	30942	3.712	0.0732	*n.s.*
	Espirulina: Cuadrático	1	961	961	0.115	0.7389	*n.s.*
	Residuales	15	125024	8335			
	Total	**23**	**217480**	**9456**			
Ancho de vellosidad (A)	Bloques	5	1206	241.20	0.782	0.578	*n.s.*
	Espirulina	3	389	129.67	0.420	0.741	*n.s.*
	Espirulina: Lineal	1	68	68.00	0.220	0.646	*n.s.*
	Espirulina: Cuadrático	1	1	1.00	0.005	0.946	*n.s.*
	Residuales	15	4628	308.53			
	Total	**23**	**6223**	**270.57**			
Profundidad de Cripta (PC)	Bloques	5	245.7	49.14	0.599	0.7013	*n.s.*
	Espirulina	3	516.2	172.07	2.099	0.1434	*n.s.*
	Espirulina: Lineal	1	256.2	256.20	3.125	0.0974	*n.s.*
	Espirulina: Cuadrático	1	68.9	68.90	0.840	0.3739	*n.s.*
	Residuales	15	1230	82.00			
	Total	**23**	**1991.9**	**86.60**			
Relación Longitud de vellosidad / Profundidad de Cripta (L/PC)	Bloques	5	3.722	0.744	1.376	0.2879	*n.s.*
	Espirulina	3	7.872	2.624	4.852	0.0149	*
	Espirulina: Lineal	1	7.379	7.379	13.645	0.0022	**
	Espirulina: Cuadrático	1	0.091	0.091	0.169	0.6868	*n.s.*
	Residuales	15	8.112	0.541			
	Total	**23**	**19.706**	**0.857**			