

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE ZOOTECNIA



**“EFECTO DE LA ESPIRULINA (*Arthrospira platensis*)
EN PARÁMETROS PRODUCTIVOS, MORFOMETRÍA INTESTINAL
Y DE TIBIA EN POLLOS DE ENGORDE”**

Presentada por:

ANA PAOLA PANGO MAJUAN

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO ZOOTECNISTA

Lima – Perú

2021

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE ZOOTECNIA

**“EFECTO DE LA ESPIRULINA (*Arthrospira platensis*)
EN PARÁMETROS PRODUCTIVOS, MORFOMETRÍA INTESTINAL
Y DE TIBIA EN POLLOS DE ENGORDE”**

Presentada por:

ANA PAOLA PANGO MAJUAN

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO ZOOTECNISTA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Víctor Guevara Carrasco
Presidente

Ing. Marcial Cumpa Gavidia
Miembro

M.V. Otto Zea Mendoza
Miembro

Dr. Carlos Vílchez Perales
Asesor

Ing. Cristian Uculmana Morales
Co-Asesor

DEDICATORIA

*A Lorena Majuan y Pablo Pango,
mis padres, por su amor y apoyo
incondicional, por siempre
impulsarme a seguir mis sueños.*

*A Jorge Enrique y Luis Fernando
Pango, mis hermanos, por
quienes quiero ser mejor
profesional y persona. Todos mis
logros son por y para ustedes,
familia. Los amo*

AGRADECIMIENTOS

A Cristian Uculmana y al Dr. Carlos Vilchez, por su amistad, paciencia, guía y buen ánimo para responder a mis dudas sin importar el día ni la hora, por apoyarme de inicio a fin.

A mi familia, por su amor y apoyo incondicional, por creer en mí, por siempre impulsarme a no darme por vencida, por permitir que cumpla mis sueños y ser siempre el motor para alcanzar todos mis objetivos.

A Bryan Escudero, por todo tu amor y alegría, por ser mi apoyo en la tesis y en la vida, por alentarme en cada nueva meta que me pongo, celebrar mis éxitos y acompañar mis desaciertos, por ser mi compañero incondicional.

A mis amigos, quienes se convirtieron en mi familia y han seguido de cerca todo este proceso, Boris Tangoa, Rosa E. Ruiz, Paola Díaz, Jaqueline Flores, Karyn Cordova, Paula Sanchez, Liliana Jimenez, Alexandra Mosqueira, Clarita Bustamante y Klaudia Fetta; con ustedes compartí los mejores años de la vida, la época universitaria, llena de fiestas, risas, estudios, amanecidas y jornadas interminables, viajes y aventuras, tristezas y frustraciones, y sobretodo la alegría de compartir cada pequeño paso que nos acercaba a cumplir nuestras metas, los llevo por siempre en mi corazón.

Al profesor Marco García, por ser un casi padre para mí, por sus enseñanzas y conversaciones amenas llenas de cariño.

A Deyanira Figueroa, Keylly Salazar y Martín Silva, mis amigos, a pesar que los conocí recién en el 2018 gracias la MD-Z, hemos compartido muchísimos momentos felices, son parte importante y trascendental de mi vida universitaria, los quiero.

A Greylin Herrera y Shirley Pinto, mis amigas de toda la vida, por acompañarme, preocuparse por mí y cuidarme como mis hermanas, porque a pesar de seguir caminos distintos siempre están conmigo en cada paso que doy.

A mi tía Mayra, por ser como una segunda madre para mí.

A la Agraria, por ser mi hogar durante 6 años, pero ser parte de mí el resto de la vida.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
ABSTRAC.....	VII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 ANTECEDENTES DE ALGAS EN NUTRICIÓN GENERAL	2
2.2 ESPIRULINA	2
2.3 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA ESPIRULINA	3
2.4 APORTE NUTRICIONAL DE LA ESPIRULINA	5
2.5 SALUD INTESTINAL EN POLLOS DE ENGORDE.....	6
2.6 CAMBIOS MORFOMÉTRICOS EN EL TGI DE LOS POLLOS DE ENGORDE.....	7
2.7 DESARROLLO DE ÓRGANOS DEL TGI	9
2.8 MORFOMETRÍA ÓSEA	10
2.9 USO DE ESPIRULINA EN DIETAS DE POLLOS DE ENGORDE.....	11
III. METODOLOGÍA.....	13
3.1 LUGAR Y DURACIÓN DEL EXPERIMENTO	13
3.2 MATERIAL BIOLÓGICO	13
3.3 INSTALACIONES Y EQUIPOS	13
3.4 ALIMENTACIÓN.....	13
3.5 TRATAMIENTOS	14
3.6 MEDICIONES	16
3.6.1 Parámetros productivos	16
3.6.2 Indicadores de morfometría de la tibia.....	17
3.6.3 Indicadores integridad intestinal	18
3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	19

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
4.1. PARÁMETROS PRODUCTIVOS	20
4.1.1. Peso corporal	20
4.1.2. Consumo de alimento.....	22
4.1.3. Conversión alimenticia.....	22
4.2. PESO DE ÓRGANOS.....	22
4.2.1. Corazón	24
4.2.2. Hígado	24
4.2.3. Ciegos.....	24
4.3. DESARROLLO DE LA PECHUGA.....	25
4.4. MORFOMETRÍA DE LA TIBIA	26
4.5. INTEGRIDAD INTESTINAL.....	27
V. CONCLUSIONES	31
VI. RECOMENDACIONES	32
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	33
VIII. ANEXOS	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Aporte de proteína y aminoácidos por 100 g de espirulina.....	4
Tabla 2: Fórmulas de las dietas experimentales de Pre-Inicio (1 a 10 días)	14
Tabla 3: Fórmulas de las dietas experimentales de Inicio (11 a 21 días)	15
Tabla 4: Efecto de la inclusión de espirulina sobre parámetros productivos en pollos de 21 días de edad.....	21
Tabla 5: Efecto de la inclusión de espirulina sobre el peso de los órganos internos de pollos al 21 día de edad	23
Tabla 6: Efecto de la inclusión de espirulina sobre conformación de la pechuga en pollos de 21 días de edad.....	25
Tabla 7: Características morfométricas de las tibias de pollos de carne de 21 días de edad alimentadas con espirulina en dieta	26
Tabla 8: Influencia de la espirulina sobre la morfometría intestinal en pollos de 21 días de edad	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Vellosidades intestinales a los 21 días de edad de pollos alimentados con T1 (dieta control).....	29
Figura 2: Vellosidades intestinales a los 21 días de edad de pollos alimentados con T2 (dieta control + 0.15% espirulina)	29

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Peso vivo.....	48
Anexo 2: Consumo de alimento	49
Anexo 3: Ganancia diaria de peso y Conversión alimenticia.....	50
Anexo 4: Peso de órganos	51
Anexo 5: Desarrollo de la pechuga.	52
Anexo 6: Morfometría de la tibia en pollos de 21 días de edad	53
Anexo 7: Morfología intestinal.....	54

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la inclusión de espirulina (*Arthrospira platensis*) en dieta sobre los parámetros productivos, morfometría intestinal y morfometría de la tibia en pollos de engorde de 21 días. Se utilizaron 40 pollos machos de 1 día de edad de la Línea Ross 308, los cuales fueron distribuidos al azar en ocho unidades experimentales con cinco aves cada una. Cuatro unidades experimentales recibieron, durante 21 días, uno de los siguientes tratamientos: T1: Dieta control y T2, Dieta con 0.15 por ciento de espirulina. El alimento (en forma de harina) y agua fresca fueron administrados ad libitum. El peso vivo, ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia fueron registrados semanalmente. Al día 21, todos los animales fueron sacrificados y se tomaron el peso de pechuga, profundidad, ancho y largo de pecho. Se extrajeron los órganos internos (intestinos, corazón, molleja, hígado, páncreas y ciego) y se realizaron las mediciones respectivas. Para la morfometría de la tibia (peso, longitud, ancho) se guardaron las tibias. De igual manera, se reservaron muestras de intestinos de para las mediciones de la morfometría intestinal (longitud, ancho y área de la vellosidad intestinal, profundidad de cripta y relación altura-área de vellosidad). Los datos registrados fueron sometidos a análisis de varianza bajo un Diseño Completamente randomizado y la para la comparación de medias se utilizó la Prueba de Tukey. Los resultados mostraron que los parámetros productivos no fueron influenciados ($P>0.05$) por la inclusión de espirulina al 0.15 por ciento. Los pesos de corazón, hígado, y patas fueron influenciados ($P<0.05$) por la presencia de espirulina en la dieta. La morfometría intestinal e indicadores de integridad de la tibia no fueron afectados por el tratamiento dietario ($P>0.05$). Se concluye que la inclusión de espirulina al 0.15 por ciento no afecta los parámetros productivos, la altura de la vellosidad intestinal, ni la morfometría de la tibia de las aves.

Palabras clave: pollo, microalga espirulina, morfometría intestinal y tibia en pollos.

ABSTRAC

The objective of the present study was to evaluate the effect of spirulina (*Arthrospira platensis*) inclusion in diets over productive parameters of intestinal morphometry and tibial morphometry on 21 days old broiler chickens. For this purpose, 40 Rose 308 1-day old male chicks were used, which were randomly distributed in eight experimental units of five birds each. Four experimental units were fed one of the following treatments: T1: Control diet and T2: Diet with 0.15% spirulina for 21 days. The feed (as meal) and fresh water were given ad libitum. Live weight, weight gain, feed consumption and feed conversion ratio were registered weekly. At day 21, all animals were sacrificed and breast weight, depth, width and length were registered. Internal organs (intestines, heart, gizzard, liver, pancreas and cecum) were extracted for respective measures. For tibial morphometry (weight, length, width) tibias were stored. In the same manner, intestine samples were saved for intestinal morphometry (intestinal villi length, width and area, crypt depth and length-area ratio). Registered data was submitted to analysis of variance under a Completely Randomized Design (CRD) and for mean comparison Tukey Test was employed. The results showed that productive parameters were not influenced ($P>0.05$) by spirulina inclusion at 0.15%. Heart, liver and feet weight were influenced ($P>0.05$) by spirulina inclusion in diet. Intestinal morphometry and tibial integrity indicators were not affected by dietary treatment ($P>0.05$). In conclusion spirulina inclusion at 0.15% did not affect productive parameters of intestinal villi length nor tibial morphometry of birds.

Keywords: chicken, spirulina microalgae, intestinal and tibial morphometry in chickens.

I. INTRODUCCIÓN

La industria avícola es muy importante en nuestro país y dentro de ella, la producción de pollos de engorde es la que mayor porcentaje representa. Como actividad económica, la avicultura el MINAGRI (2020) indica que en enero representó el 29.2 % dentro del Valor Bruto de la Producción Agropecuaria, correspondiendo a las aves de engorde el 24.6 %, y a la producción de huevos el 4.7 %. La carne de pollo es considerada la primera fuente de proteína animal a nivel nacional y es uno de los productos más accesibles y económicos para los hogares peruanos en comparación con otras fuentes de proteína como la carne de ovino, porcino, vacuno y pescado. La creciente demanda de este producto, así como su importancia dentro de la canasta familiar, genera la necesidad de producir pollos eficientemente con el menor costo de producción posible.

En la crianza animal la alimentación representa entre el 60 y 70 % de los costos de producción. La disponibilidad de alimentos a un costo razonable es uno de los factores limitantes en el éxito de los negocios agropecuarios, por ello se busca utilizar insumos que permitan abaratar costos o que su inclusión resulte en mejores resultados productivos en granja. La tendencia en la nutrición avícola es el uso de ingredientes naturales; dentro de ellas se encuentran las microalgas como la espirulina. Esta tiene un precio referencial de 6.65 dólares por kilogramo y cuenta con características funcionales prometedoras en dietas avícolas por su excelente aporte en cuanto a proteína y otros componentes bio-activos (pigmentos, vitaminas, proteínas, esteroides, ácidos grasos, etc.) lo que la hace muy interesante para su inclusión en la alimentación animal. A pesar de que ya existe evidencia del uso de espirulina en la formulación de dietas para aves y otras especies; no hay suficiente investigación en nuestro medio y existe la necesidad de contar con mayores datos de desempeño productivo y salud animal para justificar su inclusión en las dietas, razón por la cual su uso aún es limitado. Por lo tanto el objetivo de la presente investigación es evaluar el efecto de la espirulina como ingrediente funcional sobre los parámetros productivos, integridad de tibia y salud intestinal en pollos Ross 308 de 21 días de edad.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de algas en nutrición general

El uso de algas en la alimentación humana y animal se remonta a muchos siglos atrás, siendo los países orientales los que presentan esta práctica desde el siglo IV. China, Japón y la República de Corea son los mayores consumidores de algas marinas como alimento y sus necesidades constituyen la base de una importante industria (McHugh, 2002). La inclusión de algas en alimentación animal inicia en islas británicas, donde eran ofrecidas en la alimentación de ovinos, observando en ellos mejor estado sanitario (Jensen, 1972; Chapman *et al.*, 1980). Otras pruebas evidencian que el uso de espirulina en las dietas en reemplazo de insumos tradicionales para alimentación animal permite la mejora en cuanto a salud y desempeño productivo (Dismukes *et al.*, 2008; Kulpys *et al.*, 2009).

Las algas se caracterizan por presentar gran capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales y su presencia en cualquier medio donde exista alguna fuente de carbono, nutrientes, luz y temperatura adecuada (Gil, 2016). Presentan hasta 50,000 especies que difieren en forma, tamaño (microalgas y macroalgas) y composición química (González, 1987; Garrido y Parada, 2008).

En la actualidad, la espirulina es una microalga que ha generado interés por nutricionistas avícolas al demostrar propiedades nutricionales beneficiosas en la crianza de pollos de engorde (Jamil *et al.*, 2015; Sugiharto y Lauridsen, 2016).

2.2 Espirulina

La *Arthrospira Platensis* conocida comúnmente como microalga espirulina (Costas, 2018) es un alga unicelular de la familia cianofíceas, también conocidas como algas azul verdosas, posee forma espiral y mide 500 micras aproximadamente (Pedraza, 1989). Esta alga crece en condiciones alcalinas con un pH que oscila entre 8.5 y 10.5 y a temperatura promedio de 25 a 35°C (Garrido y Parada, 2008); una de las principales ventajas que presentan las microalgas es que sostienen el exceso del CO₂ atmosférico y producen O₂, lo que ayuda a reducir el efecto invernadero. Además, respecto al consumo de agua (L/kg producido) y su

aporte de proteína, Earthrise (1998) indica que la espirulina aporta en promedio 65 % de proteína y consume 2.500 L, la soya (grano) 34-36 % de proteína y consume 8.860 L y el maíz (grano) 9 % de proteína y consume 12.416 L.

La espirulina, de manera natural, crece en lagos y otros afluentes de agua dulce y por su valor nutritivo se emplea como suplemento alimentario para humanos (Mangaban *et al.*, 1987). Las paredes de las células de la espirulina no tienen celulosa, más bien está compuesta de mucopolisacáridos, permitiendo que la fracción proteica sea de más fácil digestión y asimiladas por el organismo (Chamorro y Salazar, 1995; Madeira *et al.*, 2017).

Su elevado contenido proteico, así como su balance de aminoácidos la hizo una alternativa para su uso como fuente de aminoácidos esenciales, fundamental en la alimentación de aves y cerdos para sustituir pastas oleaginosas y las harinas de pescado (Márquez *et al.*, 1974). La espirulina puede ser utilizada como insumo para dietas alimenticias de especies de corral permitiendo la reducción de la inclusión de alimentos balanceados de costos elevados (Mahmoud *et al.*, 2016).

2.3 Composición nutricional de la espirulina

Se considera a la espirulina como un alimento concentrado en nutrientes por el perfil nutricional que presenta. Dentro de su composición y características se le atribuye ser una buena fuente de proteína (60-70 %), aminoácidos esenciales, rica en vitaminas (A, D, E y las del complejo B), minerales, ácidos grasos, antioxidantes y pigmentos (Khan *et al.*, 2005, Buttori y Di Ruscio, 2009; Maoka, 2011; Holman y Malau-Aduli, 2012; Cerón, 2013). Trabajos realizados Evans *et al.* (2015) que la espirulina presenta un valor energético igual al 90 % de la energía del maíz (2839 kcal TME_n /kg), además de contener un alto nivel de proteína cruda (76 %) y aminoácidos esenciales. Doreau *et al.*, (2010) señala que el nivel de proteína es alrededor de 55-65 % mientras que Soni *et al.*, (2017), 50 – 70 %.

Esta microalga contiene tres ficobiliproteínas: ficocianina, componente al 20% de todas las proteínas, aloficocianina y ficoeritrina (Hernández, 2016). Dentro de su composición se encuentran aminoácidos esenciales como lisina, leucina, isoleucina, triptófano y valina (Mišurcová *et al.*, 2014). Según el departamento de agricultura de los estados unidos en materia seca la proteína es de 57.47 %.

Tabla 1: Aporte de proteína y aminoácidos por 100 g de espirulina

Proteína y aminoácidos	g/100g
Proteína	57.47
Triptófano	0.929
Treonina	2.97
Isoleucina	3.209
Leucina	4.947
Lisina	3.025
Metionina	1.149
Cisteína	0.662
Fenilalanina	2.777
Tirosina	2.584
Valina	3.512
Arginina	4.147
Histidina	1.085
Alanina	4.515
Glicina	3.099
Prolina	2.382
Serina	2.998

FUENTE: US Department of Agriculture (2019)

Por otro lado, la espirulina también es una buena fuente de ácidos grasos esenciales y pigmentos, como la clorofila, carotenos y xantofilas (Babadzhanov *et al.*, 2004; Howe *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2007; Soni *et al.*, 2017; Hynstova *et al.*, 2018). Contiene alrededor de 6,000 mg de xantofilas totales y 7,000 mg de carotenoides totales / kg (Anderson *et al.*, 1991).

Cuenta con compuestos fenólicos que incluyen ácido salicílico, trans-cinámico, ácidos sinápticos, clorogénicos, químicos y cafeicos presentes en la espirulina también pueden tener efecto antioxidante de manera individual o sinérgica (Miranda *et al.*, 1998; Park *et al.*, 2018). Dentro de su contenido de grasa del 6 al 9%, la espirulina es rica en ácidos grasos insaturados como el ácido linoleico, el ácido docosahexaenoico, el ácido eicosapentaenoico, el ácido araquidónico y el ácido estearidónico (Cho *et al.*, 2020)

Contiene entre 15 – 25 % de carbohidratos, glucosa, fructosa y sacarosa en pequeñas cantidades, así como glicerol, manitol y sorbitol (Belay, 2002; Hernández, 2016). Así como elementos inorgánicos como calcio, potasio, cromo, cobre, manganeso, hierro, fósforo, magnesio, sodio, zinc y selenio (Belay, 1997; Babadzhanov *et al.*, 2004; Mayada *et al.*, 2019).

2.4 Aporte nutricional de la espirulina

La espirulina se caracteriza por su alto contenido proteico lo que lo distingue como un insumo utilizado para la alimentación animal (Belay *et al.*, 1993; Doreau *et al.*, 2010). Se ha informado que el balance de aminoácidos de estas microalgas se puede comparar con otros alimentos y fuentes vegetales (Spolaore *et al.*, 2006; Plaza *et al.*, 2009; Alvarenga *et al.*, 2011). Vargas (2011) menciona que, al consumir isoleucina y leucina presentes en la espirulina, estos aminoácidos tendrán un rol dentro de la formación y reparación del tejido muscular. Por otro lado, la lisina es uno de los aminoácidos más importantes, interviene en la síntesis de hormonas, crecimiento, la reparación de tejidos y aporte de anticuerpos al sistema inmunológico. La metionina, al ser el aminoácido limitante, determina la cantidad de alimento usado a nivel celular. La fenilalanina, participa de la producción de colágeno, además de ser componente estructural del tejido conectivo y de la piel. El triptófano está relacionado con la producción hormonal y el crecimiento. Además, treonina en conjunto con L-metionina y ácido aspártico están activamente relacionados con la salud hepática.

Investigaciones realizadas en animales demuestran que la espirulina tiene actividad inmunomoduladora, antiinflamatoria, antiviral y antimicrobiana (Rasool *et al.*, 2009; Uyisenga *et al.*, 2010; Langers *et al.*, 2012; Abdel- Daim *et al.*, 2013; Shokri *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2018). Kaushik y Chauhan (2008) demostraron que los extractos de espirulina tienen efectos antibacterianos al inhibir el crecimiento de microorganismos nocivos, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi* y neumonía por *Klebsiella*. Rania y Hala (2008) mencionan que esta actividad antibacteriana se debería a la presencia de alcaloides y lipopolisacáridos. Neyrinck *et al.*, (2017) indican que el efecto antiinflamatorio de la espirulina en el hígado puede depender de las mejoras del sistema inmunitario intestinal o de los cambios en la función de barrera intestinal a través de producción de AMP. La ficocianina que se encuentra en esta microalga, podría ser otro mecanismo que explique el efecto antiinflamatorio en el hígado, independientemente de una modulación de la microbiota intestinal y / o la función inmune intestinal.

La espirulina tiene la capacidad de prevenir el daño celular por su propiedad antioxidante, enzimático y no enzimático, que contrarresta los efectos de las especies reactivas de oxígeno (ROS) (Takeda *et al.*, 1995; Alscher *et al.*, 1997, Mayada 2019). La actividad antioxidante de la espirulina también podría atribuirse a la presencia de ficobiliproteínas; Ficocianina y aloficocianina, las cuales actúan principalmente contra los radicales superóxido (Estrada *et al.*, 2001; Chaiklahan *et al.*, 2010). Estudios mencionan que espirulina tiene actividad antiinflamatoria prometedora que podría atribuirse a sus propiedades antioxidantes y al contenido de ficocianina (Coskun *et al.*, 2011; Nege *et al.*, 2020). Estudios realizados en la alimentación de tilapias con espirulina mostraron una mejora significativa en las tasas de crecimiento, inmunidad y resistencia a enfermedades (Abdel-Tawwab y Ahmad, 2009; Amer, 2016; Lu *et al.*, 2006; Mahmoud *et al.*, 2018).

Cabe destacar que el uso de microalgas como fuente de alimento, no posee restricciones y puede consumirse sin implicar riesgos en la salud humana ni animal, ya que son catalogadas como microorganismos seguros. Su producción y uso no genera impactos negativos en el ambiente (Habib *et al.*, 2008). Actualmente se utiliza como una fuente de alimento para personas con mal nutrición por los resultados rápidos de mejora que se han visto (Henrikson, 2010).

2.5 Salud intestinal en pollos de engorde

La salud intestinal hace referencia al correcto funcionamiento del intestino y todas sus partes, con ello se entiende que habrá una correcta asimilación de nutrientes, deposición de residuos e intercambio de bacterias benéficas y perjudiciales. La salud del tracto digestivo, específicamente del intestino, tiene un rol fundamental en la explotación avícola ya que permite un mejor desempeño de las aves; por ello se hace mayor la necesidad de entender la salud intestinal y todo lo que ello conlleva durante la crianza (Bailey, 2013). Es necesario el adecuado equilibrio entre la mucosa intestinal, la microbiota, así como con el medio, en el cual se incluye como parte más relevante, el alimento (Miranda-Hevia, 2018). Para mejorar este aspecto se debe tener conocimiento del funcionamiento y estructura del sistema intestinal, asegurando que el intestino desarrolle sus funciones de digestión, secreción, absorción y permeabilidad selectiva de manera eficaz (Nunes, 2014).

La integridad intestinal se ve reflejada en el desarrollo completo a nivel macroscópico del tracto gastrointestinal (TGI), incluyendo órganos tejidos y glándulas desde la eclosión del huevo para optimizar la absorción de nutrientes. Su correcto funcionamiento logra la máxima

velocidad de crecimiento y conversión alimenticia. Esto se debe estimular desde el nacimiento hasta el último día de su vida productiva, por ello la importancia de ofrecer alimentos de calidad en el pienso alimenticio de los pollos de engorde, ya que esta suele ser la primera causa de pérdida de integridad intestinal (Cervantes, 2011).

Asegurar la integridad intestinal permite que se desarrollen las funciones de digestión y absorción de los nutrientes de manera eficaz, restringe el paso a patógenos entéricos, permite que el ave muestre su máximo potencial genético en crecimiento y performance, mejora la pigmentación, previene el exceso de desperdicio de nutrientes en excretas y disminuye la humedad en excretas (Cervantes, 2011). Por otro lado, el epitelio intestinal funciona como una barrera natural contra las bacterias patógenas y sustancias tóxicas presentes en el alimento y lumen intestinal. Existen factores que pueden causar alteraciones en la microbiota normal o en el epitelio intestinal, alterando la permeabilidad de la misma, y así facilitando la invasión de patógenos y sustancias perjudiciales, lo que genera la aparición de procesos inflamatorios crónicos, así como la disminución en el tamaño de las vellosidades, afectando los procesos de digestión y absorción de nutrientes (Lodemann, 2010; Chambers y Gong, 2011; Plaza *et al.*, 2014).

Finalmente, cuando hay una óptima salud intestinal la fisiología digestiva funcionará adecuadamente para fines de salud animal, así como de producción. El TGI es un ecosistema que permite la interacción del lumen intestinal, microorganismos intestinales y células epiteliales, permitiendo la protección física y desarrollo completo del sistema inmune, así como también el control parcial del sistema nervioso y hormonal (Tavernari *et al.*, 2008). Además, permite la digestión mediante cambios físicos y químicos por los que pasan los alimentos, transformándose en sustancias simples de fácil absorción. Los productos de la digestión pasan a través de la pared del intestino delgado hacia el torrente sanguíneo; los sistemas de transporte se encargan de la absorción de los nutrientes y se ve favorecida por la presencia de las vellosidades.

2.6 Cambios morfométricos en el TGI de los pollos de engorde

El análisis morfométrico de la mucosa del intestino permite medir y cuantificar las vellosidades intestinales y criptas de Lieberkühn, ayudando a evaluar su desarrollo y facilitar la comprensión de los procesos fisiológicos como la capacidad de absorción de cada porción intestinal (Nuñez *et al.*, 1994; Auxiliadora, 2005; Vásquez, 2014).

Durante los primeros 10 días de vida del pollo, las vellosidades se desarrollan solo en un 50 % (Betancourt, 2017); según Ortiz (2005) el máximo desarrollo se alcanza entre los 4-6 días en duodeno y en yeyuno e íleon en el décimo día. Después de la eclosión, las vellosidades intestinales aumentan en altura, mientras que la profundidad de criptas disminuye con rapidez, posiblemente para incrementar la superficie de absorción de nutrientes (Yu *et al.*, 2011; Giannenas *et al.*, 2012; Salim *et al.*, 2013).

Es importante recalcar que las perturbaciones estructurales y funcionales en el pollito interferirán en el desempeño y salud posterior del ave (Tavernari, 2008). Ya que el daño a nivel de epitelio que sufren las paredes de la mucosa ocasionado por distintos factores da inicio a necrosis de las vellosidades, o una exfoliación del epitelio, seguida de la destrucción y pérdida de los enterocitos que recubren las vellosidades intestinales, provocando una reposición celular forzada. El recambio celular demora entre 3 a 5 días en producirse, en cuyo período los nuevos enterocitos formados en las criptas de las vellosidades van a recubrir de nuevo las zonas dañadas que durante ese periodo no pueden realizar la absorción de los nutrientes que circulan por el intestino. La disbacteriosis y la pérdida de mucosa intestinal puede terminar en animales afectados, produciendo una importante variación en los pesos esperados al día del beneficio (Faus, 2008).

Cada vellosidad posee microvellosidades que permiten el incremento de la superficie de absorción del intestino, las cuales estarán recubiertas por epitelio celular (enterocitos) y sus funciones específicas dependerán de su ubicación. Aquellas que se encuentren ubicadas lateralmente permitirán la absorción de electrolitos mientras que las células en la cúspide de vellosidades, líquidos (Cervantes, 2011). La mucosa intestinal es una barrera inmunológica formada por anticuerpos Ig A que evita que los patógenos se adhieran a la pared intestinal (Tavernari, 2008) y forman una superficie semipermeable que permite el paso de nutrientes y líquidos (Cervantes, 2011).

Respecto a la capacidad de absorción e integridad intestinal, se pueden considerar la forma, disposición de las vellosidades y profundidad de criptas intestinales como parámetros en cuanto a morfología y morfometría del epitelio intestinal (Jeurissen *et al.*, 2002; Francesch, 2007; Puente 2018). La respuesta morfométrica intestinal a un tratamiento se puede considerar como el adecuado balance entre la renovación celular en las criptas y la pérdida celular en el ápice de las vellosidades. Vellosidades más largas o anchas o relaciones longitud/profundidad altas reflejan un balance favorable a la renovación celular, ya sea por

una ausente o baja extrusión y una alta tasa de renovación. Vellosidades más cortas reflejan un balance favorable a la extrusión, ya sea por una pérdida normal de células o como producto de la inflamación producida por los patógenos o sus toxinas. En estas condiciones, una baja relación longitud/profundidad indicaría una alta tasa de renovación celular, pero insuficiente para incrementar el tamaño de las vellosidades (Uni *et al.*, 1998; Awad *et al.*, 2009; Clevers, 2013, Puente *et al.*, 2019).

2.7 Desarrollo de órganos del TGI

El desarrollo de los órganos se puede explicar a través de la alometría. Esta ciencia se puede conceptualizar como el estudio de la tasa de crecimiento de una parte de un organismo en relación a la tasa de crecimiento de todo el organismo, los cambios proporcionales asociados con la variación en el tamaño, del cuerpo, de una forma específica u órgano y su relación con características morfológicas, fisiológicas y químicas de los seres vivos (Gayon, 2000; Vásquez, 2016). El peso de un órgano y sus funciones están correlacionadas con el peso corporal, por lo tanto, se pueden establecer funciones con relación al peso corporal y del órgano (Jaramillo, 2012). El crecimiento alométrico indica la proporción en que crece un órgano con relación al peso corporal total, en un periodo determinado (Vásquez, 2016).

En la búsqueda de perfeccionar la explotación avícola se genera un intensa selección genética, lo que trae como resultado cambios en los patrones de crecimiento alométrico; desde el año 1957 al 2005, el crecimiento de los pollos de engorde incrementó en 400 % y la conversión alimenticia disminuyó en un 50 % (Zuidhof *et al.*, 2014); sin embargo, Uculmana (2015) cita a Nir *et al.*, (1993), quienes demostraron que el crecimiento alométrico del intestino delgado e hígado fue mayor en pollos de engorde que en aves de postura, debido a la eficacia del pollo de engorde para la transformación del alimento brindado en proteína animal.

Zuidhof *et al.* (2014) indican que el rápido crecimiento del pollo de carne se debe probablemente a la mejora en cuanto a la nutrición, factores ambientales y la mejora genética que éstos han experimentado a lo largo del tiempo. Durante las primeras etapas de la vida del pollo, el desarrollo de estructuras corporales es prioritario, a partir de la tercera semana de vida y debido alta especialización genética para producción eficiente de proteína animal, la nueva prioridad es el desarrollo y crecimiento muscular (Zuidhof, 2005).

Respecto al desarrollo del intestino, este logra su desarrollo completo entre 3 a 7 primeros días de vida y posteriormente su crecimiento declina rápidamente (Berti, 2003). Lilja (1983)

citada por Jaramillo (2012) explica que el intestino delgado es un órgano de oferta, por lo tanto mientras el pollo se encuentra en crecimiento, disminuye su peso para priorizar a órganos de demanda, como los músculos. El crecimiento de las diferentes áreas del intestino delgado, puede estar asociado a un mayor crecimiento de las vellosidades intestinales durante las primeras semanas de vida, con ello aumenta la superficie de absorción y, por consiguiente, mejora la ganancia de peso. Una mayor ganancia de peso está relacionada con un peso absoluto más alto de hígado y páncreas, debido al incremento de la tasa metabólica (Jaramillo, 2012).

2.8 Morfometría ósea

La inadecuada salud ósea es uno de los mayores problemas que enfrenta la industria del pollo de carne (Rath *et al.*, 1999), ya que este conlleva una serie de perjuicios en la productividad y por consecuencia afecta la rentabilidad de esta actividad.

Durante la primera semana de vida, la energía, nutrientes, vitaminas y minerales están destinados al vertiginoso crecimiento que atraviesan los pollos de engorde; ya que en estos primeros 7 días cuadruplican su peso inicial. Por lo tanto, el rendimiento productivo en pollos de engorde puede verse dificultado por el aprovechamiento de nutrientes esenciales como los minerales lo que los expone a presentar problemas con el desarrollo del esqueleto y a menudo presentan deterioro de la salud de piernas (Zelenka, 2012). Los minerales son compuestos de importancia en el organismo animal ya que son responsables de la formación y mantenimiento del hueso, principalmente durante el crecimiento y desarrollo esquelético de las aves. (Assuena *et al.*, 2009; Shaw *et al.*, 2010; Aguilar *et al.*, 2017). La resistencia ósea en tibia y fémur ha sido usada como indicador del estado del hueso en la nutrición mineral de las aves de corral (Park *et al.*, 2018).

Las extremidades inferiores presentan adaptaciones que les permiten soportar el peso, así como la locomoción; dichas propiedades morfológicas están relacionadas con las propiedades biomecánicas y estructurales del hueso. Por lo que su estructura contrarresta las cargas mediante adaptaciones en su geometría, lo que involucra la actividad continua y coordinada para la formación ósea (Moine 2015). Geil (2005) resalta la importancia de la información morfométrica del hueso ya que proporciona un método confiable para evaluar las deformidades óseas. La integridad estructural del hueso incluye la masa ósea, geometría, materiales y tejidos, los cuales se expresan como características físicas del hueso

considerando el peso del hueso (g), longitud del hueso (cm), índice de hueso tibiotarsal (mg/mm) y robustez ósea (Adeniran, 2015).

Factores asociados al acelerado crecimiento tienen relación con la presencia de problemas locomotores ya que se interrumpe el proceso normal de crecimiento esquelético (Thorp *et al.*, 1994; Whitehead, 2009). A mayor peso, genera mayor desequilibrio al caminar; se observan lesiones a nivel de miembros posteriores que ocasionan disminución en la calidad de carcasa (Mateo, 2018), problemas a nivel de bienestar animal ya que estas aves, al no poder desplazarse, no pueden acceder ni al alimento ni al agua (Weeks *et al.*, 2000) y por lo tanto, tienen una inadecuada ganancia de peso (Kestin *et al.*, 1999; Kestin *et al.*, 2001). Estos problemas generan pérdidas económicas ya que el pollo de engorde es intensamente seleccionado para lograr un rápido crecimiento del tejido muscular de pechuga y piernas, proceso que interfiere con su correcto desarrollo óseo (Whitehead, 2009). La fuente orgánica de Ca y P proporcionada por la espirulina sugiere su uso en la alimentación de aves y conejos para garantizar un correcto desarrollo y resistencia ósea (Dalle *et al.*, 2014)

2.9 Uso de espirulina en dietas de pollos de engorde

El mecanismo de acción de la espirulina no se ha descrito con exactitud, pero estudios reportan que la suplementación en dieta con espirulina genera efectos positivos en el rendimiento productivo y crecimiento de las aves de corral (Saxena *et al.*, 1983; Park 2018). Su composición química y su función fisiológica parece estar involucrada en el metabolismo relacionado al crecimiento, mejorando la ganancia de peso y conversión alimenticia en pollos de engorde (Shokri *et al.*, 2014)

El uso de espirulina en dietas de pollos de engorde ha mostrado ser beneficioso, ya que facilita la digestión de minerales así como la absorción y digestión de nutrientes, mejorando así su aprovechamiento y reduciendo la presencia de diarreas (Gružauskas *et al.*, 2004). El impacto en la microbiota juega un rol importante en la mejora de la capacidad de absorción de las barreras intestinales que permiten digerir cantidades suficientes de nutrientes necesarios para las funciones biológicas y del metabolismo en cuerpo (Rombout *et al.*, 2011).

Pruebas donde se reemplazó la torta de maní (Saxena *et al.*, 1983) o la harina de pescado (Venkataraman *et al.*, 1994) con espirulina, no muestran variación en el crecimiento del pollo. Lincoln (1985) recomendó el uso de espirulina en la alimentación de aves ya que

además de mejorar la respuesta productiva también favorece la coloración en la piel de los pollos. Soler *et al.* (1999) encontró mejores resultados productivos en términos de peso y conversión alimenticia cuando usó espirulina en la dieta de pollos de engorde y años más adelante Mora (2012), Kharde *et al.*, (2011), Shanmugapriya *et al.*, (2014) coincidieron con estos resultados.

Kaoud (2012), realizó un estudio donde se compara el uso de espirulina frente a dos diferentes probióticos en dieta de pollos de engorde y concluye que la espirulina presenta mayor aumento de peso frente al uso de probióticos, además de mejorar la conversión alimenticia, porcentaje de peso en carcasa y disminuir la mortalidad; estos resultados no coinciden con los obtenidos por Toyomizu *et al.*, (2001) y Gonget *et al.*, (2001).

Otros experimentos han mostrado que el uso de espirulina aumentó la presencia de *Lactobacillus sp.* a nivel intestinal (Jamil *et al.*, 2015). Por otro lado, se reveló que la espirulina mejora la respuesta inmune en aves (Venkataraman *et al.*, 1994; Qureshi *et al.*, 1994; Khan *et al.*, 2005). Se sugiere que esto es causa del aumento en la funcionalidad de los macrófagos y del sistema general de fagocitos mononucleares, indicativo de una mayor resistencia a enfermedades (Qureshi *et al.*, 1996; Al - Batshan *et al.*, 2001).

La pigmentación deseada en la piel y grasa de las aves depende de las preferencias del consumidor según la tradición cultural, disponibilidad de productos y el mercado. Componentes como zeaxantina, xantófilas y pigmentos carotenoides como el b-caroteno se acumulan en el tejido muscular de los pollos (Venkataraman *et al.*, 1994; Toyomizu *et al.*, 2001). Niveles de espirulina en la dieta al 1 % de la ración total en la semana anterior al sacrificio, dan como resultado una pigmentación del tejido muscular de engorde en los niveles que mejor representan las preferencias del consumidor (Dismukes *et al.*, 2008). Se ha planteado en muchos estudios que la inclusión de espirulina en dieta de pollos mejora los resultados productivos por el efecto en la mejora de la salud intestinal ya que permite el alargamiento de las vellosidades intestinales y células epiteliales mejorando el crecimiento y performance de las aves (Shanmugapriya *et al.*, 2015).

III. METODOLOGÍA

3.1 Lugar y duración del experimento

El presente estudio fue llevado a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Aves (LINAA) del Departamento Académico de Nutrición de la Facultad de Zootecnia. La preparación de las dietas se realizó en la Planta de Alimentos Balanceados perteneciente al Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos. El experimento tuvo una duración de 21 días.

3.2 Material biológico

Se utilizaron 40 pollos de engorde machos de la línea Ross 308 de 1 día de edad para asegurar la uniformidad de pesos al iniciar el experimento. Fueron distribuidos en 8 jaulas o unidades experimentales con 5 aves cada una. Estas se ubicaron dentro de una batería metálica de 5 pisos.

3.3 Instalaciones y equipos

Durante la crianza se utilizó 1 batería con calefacción eléctrica controlada por termostatos, con cinco pisos cada una. Se usaron 8 jaulas o unidades experimentales idénticas. Se utilizaron comederos laterales y bebederos frontales metálicos. Para la recolección de excretas, cada piso contó con una bandeja removible de material galvanizado que permitió facilitar para su posterior limpieza.

3.4 Alimentación

El alimento (en harina) y agua fueron suministrados a libre disposición del animal (*ad libitum*). La espirulina en polvo fue incluida dentro de la dieta brindada a las aves.

Se llevó el registro del alimento suministrado y residuos del mismo. Durante las 3 semanas de crianza se suministró dietas pre- inicio e inicio, del día 0-10 y 11-21, respectivamente para ambos tratamientos.

3.5 Tratamientos

- **T1:** Dieta control
- **T2:** Dieta + 0.15% de Espirulina

El porcentaje de espirulina es similar al utilizado por Mariey *et al.*, (20129 y Khan *et al.*, (2020). Las dietas fueron formuladas según las especificaciones nutricionales Ross 308 (2019). La composición y valor nutritivo calculado de las dietas experimentales se presentan en los Tablas 1 y 2.

Tabla 2: Fórmulas de las dietas experimentales de Pre-Inicio (1 a 10 días)

Ingredientes (%)	Tratamiento ¹	
	T1	T2
Maíz americano	51.74	51.74
Torta de soya, 46%	40.16	40.16
Aceite crudo de Soya	3.69	3.69
Lisina-HCl	0.18	0.18
DL-Metionina	0.34	0.34
L-Treonina	0.08	0.08
Carbonato de calcio	0.68	0.68
Fosfato dicálcico	2.11	2.11
Sal común	0.45	0.45
Cloruro de colina, 60%	0.10	0.10
Premezcla Vitaminas-Minerales	0.10	0.10
Secuestrante de Micotoxinas	0.10	0.10
Zinc Bacitracina	0.10	0.10
Colispro®	0.02	0.02
Material inerte	0.15	-
Espirulina	-	0.15
TOTAL	100.00	100.00
Contenido Nutricional calculado:		
Energía Metabolizable, Kcal/Kg	3000	
Proteína Cruda, %	23.17	
Lisina digestible, %	1.28	
Metionina digestible, %	0.64	
M+C digestible, %	0.95	
Treonina digestible, %	0.86	
Triptófano digestible, %	0.27	
Valina digestible, %	0.96	
Calcio, %	0.96	
Fósforo disponible, %	0.48	
Sodio, %	0.19	

¹ **T1:** Dieta Control; **T2:** Dieta con 0.15% espirulina.

Tabla 3: Fórmulas de las dietas experimentales de Inicio (11 a 21 días)

Ingredientes (%)	Tratamiento ¹	
	T1	T2
Maíz americano	56.48	56.48
Torta de soya, 46%	34.90	34.90
Aceite crudo de Soya	4.54	4.54
Lisina-HCl	0.17	0.17
DL-Metionina	0.30	0.30
L-Treonina	0.06	0.06
Carbonato de calcio	0.63	0.63
Fosfato dicálcico	1.92	1.92
Sal común	0.43	0.43
Cloruro de colina, 60%	0.10	0.10
Premezcla Vitaminas-Minerales	0.10	0.10
Secuestrante de Micotoxinas	0.10	0.10
Zinc Bacitracina	0.10	0.10
Colispro®	0.02	0.02
Material inerte	0.15	-
Espirulina	-	0.15
TOTAL	100.00	100.00
<i>Contenido Nutricional calculado:</i>		
Energía Metabolizable, Kcal/Kg	3100	
Proteína Cruda, %	21.10	
Lisina digestible, %	1.15	
Metionina digestible, %	0.58	
M+C digestible, %	0.87	
Treonina digestible, %	0.77	
Triptófano digestible, %	0.24	
Valina digestible, %	0.87	
Calcio, %	0.87	
Fósforo disponible, %	0.44	
Sodio, %	0.18	

¹ **T1:** Dieta Control; **T2:** Dieta con 0.15% espirulina.

3.6 Mediciones

3.6.1 Parámetros productivos

a. Peso individual

Durante la recepción de las aves de un día de nacidas se registró el peso de cada una con la finalidad de homogenizar cada grupo de 5 animales por jaula. Se identificó a cada pollo BB con marcas en las patas para realizar un seguimiento individual de su peso hasta el final del experimento.

b. Peso promedio semanal de aves

Se realizó el pesado de todos los animales pertenecientes a cada tratamiento desde el día de la recepción hasta el final de la fase experimental en intervalos de 7 días y posteriormente se obtuvo los promedios semanales. Se utilizó una balanza con capacidad de 6 kg y una sensibilidad de 0.5 g.

c. Consumo de Alimento

El control semanal de consumo de alimento se calculó sumando el peso del alimento suministrado durante la semana menos el residuo al final de la semana correspondiente. El consumo acumulado se obtuvo sumando el total de alimento consumido durante los 21 días de conducción.

d. Conversión alimenticia

Este parámetro se define como la relación entre el alimento que consume con el peso que gana el animal. Para el cálculo de la conversión alimenticia (C.A) se emplearon las siguientes fórmulas.

$$C.A = \frac{\text{Consumo de alimento (Kg)}}{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}$$

e. Peso de pechuga

El día 21 después del beneficio de las aves, se procedió a pesar individualmente las pechugas de los 40 animales sacrificados haciendo uso de una balanza digital.

f. Rendimiento de la pechuga

Se calculó el porcentaje de la pechuga con respecto al peso vivo de los pollos el día 21, a través de la siguiente relación:

$$\text{Rendimiento de pechuga (\%)} = \frac{\text{Peso de pechuga en kg} \times 100\%}{\text{Peso a los 21 días en kg}}$$

3.6.2 Indicadores de morfometría de la tibia

Para la obtención de los huesos, los animales fueron sacrificados por dislocación cervical e inmediatamente después se realizaron las mediciones con la finalidad de evitar que los resultados puedan afectarse por cambios post-mortem (Bowes y Julian, 1988; Rojas 2016). A cada ave se retiró los muslos, piernas y patas, se las sumergió en agua hirviendo por un lapso de 15 minutos para remover el tejido del hueso (Buckner *et al.*, 1950; Applegate y Lilburn, 2002; Rojas, 2016) Este procedimiento permite retirar hasta el 80% de grasa contenida en los huesos (Almeida *et al.*, 2008).

a. Peso de la tibia

Se pesaron la tibia de las aves sacrificadas el día 21, el peso se realizó utilizando una balanza electrónica con capacidad para 300 gramos, con valores en miligramos (mg).

b. Longitud de la tibia

Se determinó considerando la longitud mayor de extremo a extremo de la tibia de las aves sacrificadas a los 21 días, utilizando un vernier profesional y siguiendo los procedimientos de Uculmana (2015).

c. Diámetro de la tibia

Se determinó los diámetros latero-lateral (DLL) y los diámetros cráneo-caudal (DCC) de la diáfisis en la mitad de la longitud de la tibia (Kocabagli, 2001; Applegate y Lilburn, 2002; Martínez, 2012; Uculmana 2015) de las aves beneficiadas a los 21 días. Con estos dos datos, se obtuvo el valor promedio del diámetro de la tibia (DP), expresado en milímetros (mm) y calculado con la siguiente fórmula:

$$DP = \frac{1}{2}(DLL + DCC)$$

3.6.3 Indicadores integridad intestinal

El día 21 inmediatamente después del beneficio de los animales se procedió a realizar la limpieza de los intestinos y posterior corte de 2 cm de yeyuno, considerando que este corte se realizó 10 cm a partir del divertículo. Estos tejidos se colocaron en formol al 40% y pasadas 48 horas de la colección las muestras fueron enviadas al laboratorio para su fijación en placas.

Estos cortes fueron micro-diseccionados para determinar el promedio de la altura y ancho de las vellosidades intestinales, así como la profundidad y ancho de las criptas adyacentes. Los cortes histológicos fueron evaluados mediante el procesamiento de imágenes digitales computarizadas, empleando un microscopio LEICA DM L52 conectado a un computador, que cuenta con el programa LAS EZ SOFTWARE.

Las variables morfométricas a evaluar en cada corte histológico fueron:

a. Altura de vellosidad

Según los métodos indicados por Bernal (2011) se medirá la distancia entre el ápice con la base de la vellosidad expresado en μm

b. Ancho de vellosidad

De acuerdo con Rodríguez *et al.*, (2001) El ancho de las vellosidades intestinales se halló promediando el ancho apical, medio y base.

c. Profundidad de cripta intestinal

De acuerdo con el protocolo descrito por Marion *et al.*, (2002) se midió desde la base de la vellosidad, trazando una línea perpendicular desde la entrada a la cripta de Lieberkühn hasta la zonal basal de la misma.

d. Área de la vellosidad

El área de vellosidad se siguió según el protocolo según Zhang *et al.*, (2005) con la fórmula:

$$\text{Área de vellosidad} = \text{Altura de vellosidad} \times \text{Grosor de vellosidad}$$

e. Relación Altura de vellosidad y profundidad de cripta

Esta relación se halló dividiendo la altura de la vellosidad sobre la profundidad de la cripta según protocolo adaptado de Bravo (2012).

3.7 Análisis Estadístico

Se empleó el Diseño Completo al Azar con dos tratamientos y cuatro repeticiones. Se usó el análisis de varianza aplicando el procedimiento del programa MINITAB y para la diferencia de medias se empleó la prueba de Tukey.

El Modelo Aditivo Lineal General aplicado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Variable respuesta

μ : Media general

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento (i = 1, 2)

ε_{ij} = Error experimental

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se muestran en tablas de acuerdo al grado de relación entre variables y se dividieron en: parámetros productivos, peso de órganos, morfometría de la tibia e integridad intestinal.

4.1. Parámetros productivos

Los resultados de los parámetros productivos (peso, consumo, ganancia de peso y conversión alimenticia a los 21 días) de los dos tratamientos se encuentran en el Tabla 4 y en los Anexos 1, 2 y 3

4.1.1. Peso corporal

No se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) respecto al peso corporal en los días 7, 14 y 21. Resultados similares se encontraron en las investigaciones de Ross y Dominy (1990), Bonos (2016) y Zahir *et al.*, (2019), estos dos últimos incluyendo 0.5% de espirulina en dieta. Toyomizu *et al.*, (2001) con 4 % y 8 % de espirulina en dieta de pollos (Arbor Acres), obtuvo pesos menores (1867g y 1786 g respectivamente) que el tratamiento control (1934 g) al día 37. Fathi (2018) durante los primeros 7 días con tratamientos de espirulina (0.03 %, 0.05 %, 0.07% g y 0.09 %) no encontró diferencias significativas, resultado contrario a la evaluación del periodo comprendido entre el día 7 al 38 con 0.09%

Mariey *et al.* (2012), al evaluar 0.15 % de espirulina en dieta de gallinas ponedoras, no encontró diferencias significativas ($P > 0.05$) en el incremento de peso frente al tratamiento control; sin embargo al 0.20% de inclusión si se apreciaron diferencias significativas ($P < 0.05$) a favor de la espirulina. De igual forma Kaoud (2012); Abou-Zeid *et al.*, (2015), Selim *et al.*, (2018) y Khan *et al.*, (2020) a diferencia de este estudio, concluyen que el peso y la ganancia de peso fueron significativamente mayores ($P < 0.05$) al incluir espirulina en dieta en 0.1%, 0.2%, 0.3% y 0.2% respectivamente.

Tabla 4: Efecto de la inclusión de espirulina sobre parámetros productivos en pollos de 21 días de edad

Variables ²	Dietas experimentales ¹	
	T1	T2
Peso día 21 , g	1212 ± 59 ^a	1254 ± 105 ^a
Consumo día 21, g	1411 ± 75 ^a	1491 ± 48 ^a
Ganancia de peso día 21, g	1165 ± 59 ^a	1209 ± 105 ^a
Conversión alimenticia día 21, g	1.21 ^a	1.24 ^a

^a Valores con letras (superíndices) iguales dentro de filas indican no diferencia estadística (P>0.05).

¹T1: Dieta Control; T2: Dieta con 0.15% espirulina

²Valores son promedio ± Desviación estándar de 20 animales por tratamiento

Jamil *et al.* (2015) reportan que con 0.2, 0.4 y 0.8 % de espirulina en el alimento de pollos de engorde se observa aumento en el peso corporal, mejorando la conversión alimenticia. Resultados similares fueron obtenidos por Shinde *et al.* (2018) al incluir 0.04, 0.06 y 0.08 % de espirulina durante 42 días en dietas de pollos. Kharde *et al.*, (2011) informaron que el peso corporal con 0.03 % y 0.05 % de espirulina en el alimento de pollos de engorde fue significativamente más alto que el del control (P<0.05).

Estudios demuestran que las dietas que incluyen espirulina incrementan la población de *Lactobacillus spp.*, esto podría mejorar la absorción de las vitaminas (Tokai *et al.*, 1987; Kaoud 2012; Mariey *et al.*, 2012). Por otro lado, Gružauskas *et al.* (2004), citado por Jamil (2015), plantea que la espirulina mejora la absorción de minerales, disminuye la incidencia de diarreas y permite que los procesos de digestión y absorción de nutrientes se lleven a cabo óptimamente. Yuvaraj *et al.*, (2003) propone que el aumento del peso corporal por la suplementación de espirulina podría deberse a la naturaleza antioxidante de esta. Según Park (2018), la composición química de la espirulina estaría involucrada en rutas metabólicas relacionadas al crecimiento.

4.1.2. Consumo de alimento

No se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$) para esta variable, lo que coincide con Kharde *et al.* (2012), Abou-Zeid *et al.*, (2015) y Parra *et al.*, (2017) incluyendo esta alga en porcentajes de 0.05 %, 0.1 % y 0.2 %, 3 %. Por otro lado, Shinde *et al.* (2018), Waghmode (2005) y Khan *et al.*, (2020) en sus investigaciones muestran que a mayor nivel de inclusión de espirulina (0.08 %, 1%, 0.2%), el consumo de alimento aumenta. Sin embargo, Ross y Dominy (1990) observaron que la inclusión de espirulina en porcentajes por encima del 10% en dieta disminuye el consumo de alimento.

4.1.3. Conversión alimenticia

Los resultados obtenidos muestran que no se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$) al analizar esta variable en los días 7, 14 y 21. Como también lo reportaron trabajos realizados por Ross y Dominy (1990), Bonos (2016), Hajati (2020) al 0.1% y Dogan *et al.*, (2016) con 0.5%. Mariey *et al.*, (2012), por el contrario, obtuvieron mejoras en la conversión alimenticia ($P<0.05$) al probar 0.20 % de espirulina en gallinas ponedoras. De igual modo, investigadores como Raach-Moujahed *et al.*, (2011), Shinde *et al.*, (2018), Fathi (2018), Shanmugapriya (2018), Kaoud (2012); Abou-Zeid *et al.*, (2015); Waghmode (2005) y Selim *et al.*, (2018) encontraron diferencias significativas a favor de los tratamientos con espirulina (0.08 %, 0.09%, 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.05% y 0.3% respectivamente) frente a los grupos control de cada investigación.

4.2. Peso de órganos

Los resultados del peso de los órganos de los pollos a los 21 días de los dos tratamientos se encuentran en el Tabla 5 y en el Anexo 3.

Se observa que la suplementación de espirulina al 0.15 % tuvo un efecto significativo ($P<0.05$) sobre el peso de algunos órganos al día 21. Estos son el corazón, hígado y patas.

Según Alkhalf *et al.*, (2010) cuando el ambiente intestinal mejora, incrementa la eficiencia digestiva y de absorción de nutrientes, esto se verá reflejado en la ganancia de peso y en el desarrollo de los órganos.

Tabla 5: Efecto de la inclusión de espirulina sobre el peso de los órganos internos de pollos al 21 día de edad

Variables ²	Dietas experimentales ¹	
	T1	T2
Peso de grasa abdominal, g	10 ± 1.08 ^a	11 ± 3.07 ^a
Peso de intestinos, g	46 ± 6.55 ^a	52 ± 1.54 ^a
Longitud de intestinos, cm	166 ± 7.44 ^a	171 ± 7.15 ^a
Peso de corazón, g	8 ± 0.69 ^a	10 ± 0.52 ^b
Peso de molleja, g	23 ± 2.03 ^a	24 ± 2.95 ^a
Peso de proventrículo, g	6 ± 0.62 ^a	6 ± 0.52 ^a
Peso de hígado, g	27 ± 3.11 ^a	31 ± 1.13 ^b
Peso de páncreas, g	4 ± 0.27 ^a	4 ± 0.23 ^a
Peso de ciegos, g	12 ± 3.34 ^a	8 ± 1.82 ^a
Peso de piernas, g	299 ± 28.70 ^a	321 ± 4.06 ^a
Peso de patas, g	51 ± 1.55 ^a	54 ± 2.02 ^b

^{a, b} Valores con letras (superíndices) iguales dentro de filas indican diferencia estadística (P<0.05).

¹T1: Dieta Control; T2: Dieta con 0.15% espirulina

²Valores son promedio ± Desviación estándar de 20 animales por tratamiento

Fathi. M (2018) no encuentra diferencias significativas (p<0.01) en hígado y corazón pero sí para la grasa abdominal en los grupos alimentados con 0.07 % y 0.09 % de espirulina. De igual forma, Shanmugapriya y Saravana Babu (2014) indica que los pollitos con espirulina en dieta (1%) presentan menor porcentaje de grasa abdominal que el tratamiento control sin suplementación.

Investigaciones realizadas por Zahir *et al.*, (2019); Hernandez *et al.*, (2004); Abou-Zeid *et al.*, (2015) y Hajati y Zaghari (2018) no encuentran diferencias significativas (P<0.05) en el peso de intestinos, hígado, corazón y molleja. Así como Toyomizu *et al.*, (2001), quienes concluyen en que la inclusión de diferentes niveles de espirulina en dietas (4 % y 8 %) de

pollos de engorde hasta el día 16 no genera diferencias significativas en el peso del hígado, grasa abdominal y riñones.

4.2.1. Corazón

En el tabla 4 se puede observar que el T2 tiene peso significativamente mayor ($P < 0.05$) que el T1, 9.94 g y 8.03 g respectivamente. La literatura señala que la espirulina tendría un efecto en la presión sanguínea por su alto contenido de potasio y bajo de sodio. Así como en la presión sistólica por el efecto que ejerce en la resistencia en los vasos periféricos (Torres *et al.*, 2007). Lo que evidencia la reducción significativa de la presión arterial, sistólica y diastólica (Hernández-Pérez, 2014; Bohórquez, 2017). Debido al efecto que genera en el flujo sanguíneo se puede atribuir este incremento en el peso (g) del corazón causado por el sobreesfuerzo realizado para el bombeo de sangre; por otro lado, las propiedades antioxidantes de la espirulina permiten proteger a este órgano de enfermedades coronarias, entre otras (Bolanho *et al.*, 2014)

4.2.2. Hígado

El hígado presentó un peso significativamente mayor ($P < 0.05$) en el T2 (30.96 g) en comparación al T1 (26.70 g), contrario a lo reportado por Parket *et al.*, (2018) incluyendo 0.25% de espirulina en harina. Por otro lado, Vázquez-Velasco *et al.*, (2014) al probar espirulina en ratas, registran hígados con menor peso que el tratamiento control. Según Jaramillo (2012), un mejor desarrollo de las vellosidades intestinales estaría relacionado a mayor superficie de absorción y a la mejora en ganancia de peso observando de igual manera un peso absoluto más alto de hígado y páncreas debido al incremento de la tasa metabólica. Estudios realizados en espirulina datan de su efecto hepatoprotector proporcionando al hígado proteínas necesarias para la síntesis de las enzimas que a su vez son vitales para las funciones metabólicas del hígado (García-Martínez *et al.*, 2007). Hasan *et al.*, (2012), menciona que el tratamiento con espirulina en la alimentación de ratas reduce de manera significativa la peroxidación de lípidos así como la restauración del glutatión reducido, disminuyendo el estrés oxidativo y la apoptosis de las células hepáticas.

4.2.3. Ciegos

Los resultados no mostraron diferencia significativas ($P > 0.05$) observándose mayor peso de estos órganos en el T1 (12.26) frente al T2 (7.61 g); contrario a Kaoud (2012) y Pestana *et al.*, (2020). Investigaciones realizadas por Sugiharto *et al.*, (2017) muestran diferencias

significativas indicando el mayor peso de ciegos en aquellas aves que fueron alimentadas con espirulina. Este incremento de peso se debería a una mejora en la actividad fermentativa por parte de los pollos de engorde (Clench y Mathias, 1995; Sugiharto *et al.*, 2017). Pestana *et al.*, (2020) concluye que las dietas que incluyen espirulina presentan alta actividad en este órgano. Según Moen *et al.*, (2016), la dieta que incluye espirulina a largo plazo ocasiona una mayor ingesta de fibra y por ello un mayor desarrollo de los ciegos. Estudios indican la actividad microbiana en los ciegos está altamente asociado con el rendimiento productivo de los pollos de engorde (Jeong y Kim, 2014)

4.3. Desarrollo de la pechuga

Los resultados del desarrollo de la pechuga (peso, profundidad, ancho y largo) a los 21 días de los dos tratamientos se encuentran en el Tabla 6 y en el Anexo 4

No se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$) para ninguna de las variables antes mencionadas, lo que coincide con Toyomizu (2001); Parker *et al.*, (2018) y Cheong *et al.* (2015) incluyendo 8 %, 0.25% y 1%. Hajati y Zaghari (2018) encuentran diferencias significativas en el peso de pechuga a favor de espirulina incluida en 0.25 % y 0.5 % frente al tratamiento control y niveles de 1% y 2 % de la misma.

Tabla 6: Efecto de la inclusión de espirulina sobre conformación de la pechuga en pollos de 21 días de edad

Variables ²	Dietas experimentales ¹	
	T1	T2
Peso de pechuga, g	273.84 ± 10.66 ^a	297.13 ± 3 2.85 ^a
Profundidad de pecho, cm	25.01 ± 2.34 ^a	25.87 ± 1.13 ^a
Ancho de pecho, cm	8.94 ± 0.55 ^a	9.43 ± 0.22 ^a
Largo de pecho, cm	13.43 ± 0.26 ^a	13.36 ± 0.27 ^a

^a Valores con letras (superíndices) iguales dentro de filas indican no diferencia estadística ($P>0.05$).

¹T1: Dieta Control; T2: Dieta con 0.15% espirulina

²Valores son promedio ± Desviación estándar de 20 animales por tratamiento

4.4. Morfometría de la tibia

Los indicadores de morfometría a nivel de tibia (peso, longitud y diámetro) se presentan en el Tablas 7 y en el Anexo 5.

Al evaluar la inclusión de espirulina en dieta de pollos de engorde hasta el día 21 no se encontraron diferencias significativas en peso, longitud y diámetro de tibia ($P>0.05$), lo que coincide con Dalle *et al.*, (2014) quienes evaluaron esta variable en conejos. En otro trabajo, Sixabela *et al.*, (2011) informan que si existe mayor desarrollo a nivel de tibia en ratas con dietas suplementadas con espirulina en 150 y 1500 mg / kg de alimento.

Por otro lado, Ishimi (2006) al realizar un estudio de espirulina en ratas, reporta que esta microalga no previene la pérdida ósea del fémur distal y tibia proximal, y que por el contrario disminuye la porción trabecular; esto se debería a la presencia de otros minerales además de calcio en *Arthrospira platensis*; pero no se conoce con exactitud el mecanismo de acción de esta microalga.

Tabla 7: Características morfométricas de las tibias de pollos de carne de 21 días de edad alimentadas con espirulina en dieta

Variables ²	Dietas experimentales ¹	
	T1	T2
Peso de tibia, g	3.10 ± 0.22 ^a	3.13 ± 0.26 ^a
Longitud de tibia, cm	68.36 ± 1.54 ^a	68.77 ± 1.44 ^a
Diámetro de tibia, cm	6.48 ± 0.32 ^a	6.60 ± 0.42 ^a

^a. Valores con letras (superíndices) iguales dentro de filas indican no diferencia estadística ($P>0.05$).

¹T1: Dieta Control; T2: Dieta con 0.15% espirulina

²Valores son promedio ± Desviación estándar de 20 animales por tratamiento

Estudios realizados por Cho *et al.*, (2020) concluyen en que la espirulina tiene efectos positivos sobre las dimensiones del fémur en ratas macho durante un periodo de 7 semanas, además de tener un efecto positivo en la resistencia ósea, mejora la liberación de GH, lo que

resulta en las mejoras de crecimiento óseo, aumenta los niveles de osteocalcina en plasma, aumentando la densidad mineral ósea y la resistencia ósea en ratas en crecimiento. Dosis más altas de espirulina pueden aumentar el nivel de PTH, lo que se asocia con un aumento en el calcio libre disponible para la mineralización ósea en plasma. Dado que el ciclo productivo del pollo de engorde es más corto (35 a 42 días) no se aprecia algún cambio significativo por la influencia de la *Arthrospira platensis*, a pesar que se sabe que esta microalga también facilita la absorción de minerales por sus efectos sobre la microflora intestinal (Gružauskas *et al.*, 2004; Jamil 2015).

Remirez *et al.*, (2002) afirman que la espirulina ejerce un efecto antiinflamatorio sobre la artritis. Asimismo, Devesh *et al.*, (2012) al evaluar el efecto de espirulina sobre los huesos de ratas con osteoporosis inducida, muestran que existe la mejora la integridad del hueso (fémur) y su superficie, posiblemente debido a su capacidad para estimular la absorción de minerales.

4.5. Integridad Intestinal

Los indicadores de integridad intestinal (altura de vellosidad, profundidad de cripta, ancho de vellosidad, área de vellosidad y relación altura/vellosidad) se presentan en el Tabla 8 y en el Anexo 6.

La longitud intestinal y la profundidad de la cripta son indicadores de la capacidad digestiva del intestino delgado. Al evaluar la inclusión de espirulina al 0.15% en dieta no se encontró diferencias significativas ($P>0.05$) en la altura de vellosidades, profundidad de cripta, ancho de vellosidad, área de vellosidad ni en la relación altura/profundidad. Los resultados obtenidos coinciden con Furbeyre *et al.*, (2018) quienes no encuentran diferencias estadísticas en el desarrollo de las vellosidades intestinales al evaluar espirulina en lechones. Así como Sánchez-Chipres *et al.*, (2016) con espirulina máxima ($P>0.05$) al 0.2 %; sin embargo, concluye en que esta microalga permite estimular el desarrollo temprano íntegro y completo del aparato gastrointestinal, de las glándulas y órganos anexos permitiendo maximizar la digestión y absorción de nutrientes.

Por el contrario, Shandy *et al.*, (2020) y Nermeen *et al.*, (2016) con 0.1 % y 1 % encuentran diferencias estadísticas ($P<0.05$) significativamente mayores a favor del uso de espirulina en dietas de tilapias de Nilo, demostrando el potencial de la espirulina para mejorar la capacidad de absorción a nivel intestinal. Una mayor longitud de vellosidades representa un aumento

en el área de superficie de absorción del intestino que a su vez se refleja en el aumento de peso corporal y disminución de conversión alimenticia (Nermeen *et al.*, 2016).

De igual forma, Shanmugapriya *et al.*, (2015) y Khan *et al.* (2020) reportan diferencias significativas ($P < 0.01$ y $P < 0.05$) en la altura de las vellosidades evaluando 1 % y 0.2 % de espirulina en dieta. Según Murakami *et al.*, (2012) el aumento de la altura de las vellosidades puede estar relacionada con el alto contenido de proteínas en la espirulina que incluye todos los aminoácidos esenciales como triptófano y arginina, ambos importantes para el mantenimiento del epitelio intestinal.

Tabla 8: Influencia de la espirulina sobre la morfometría intestinal en pollos de 21 días de edad

Variables	Dietas experimentales	
	T1	T2
Altura de vellosidad (μm)	912 \pm 168 ^a	1063 \pm 161 ^a
Profundidad de cripta (μm)	118 \pm 20 ^a	122 \pm 15 ^a
Ancho de vellosidad (μm)	116 \pm 11 ^a	118 \pm 15 ^a
Área de vellosidad	95963 \pm 21076 ^a	107784 \pm 18829 ^a
Relación altura/profundidad	8.58 \pm 3 ^a	9.34 \pm 2 ^a

^a Valores con letras (superíndices) iguales dentro de filas indican no diferencia estadística ($P > 0.05$).

¹T1: Dieta Control; T2: Dieta con 0.15% espirulina

²Valores son promedio \pm Desviación estándar de 20 animales por tratamiento

Por otro lado, la crianza intensiva genera factores estresantes en los animales, lo que tiene un impacto negativo en el sistema inmunitario respuesta y rendimiento (Shanmugapriya *et al.*, 2015).

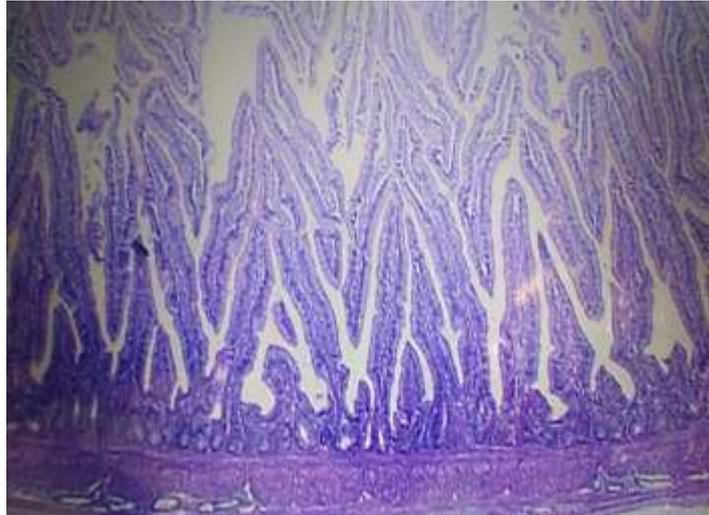


Figura 1: Vellosidades intestinales a los 21 días de edad de pollos alimentados con T1 (dieta control)

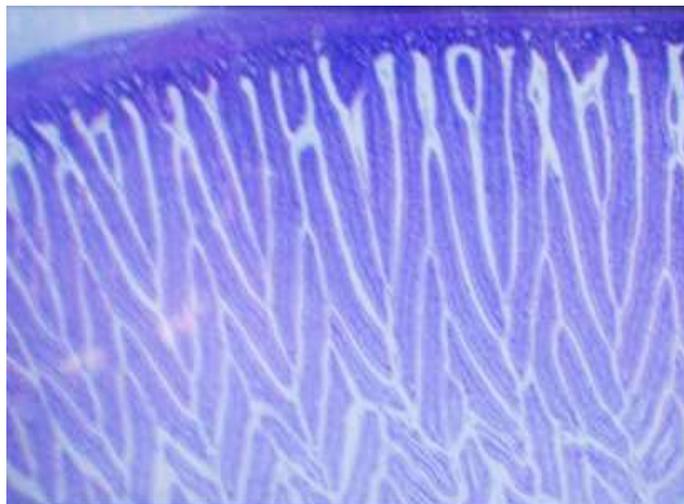


Figura 2: Vellosidades intestinales a los 21 días de edad de pollos alimentados con T2 (dieta control + 0.15% espirulina)

La alta tasa metabólica generada por la alimentación intensiva incrementa la producción de radicales libres y cualquier desequilibrio entre la producción de estas moléculas pueden culminar en estrés oxidativo, que puede dañar las células y tejidos generando mayor permeabilidad a nivel intestinal (Miller *et al.*, 1993; Lykkesfeldt y Svendsen, 2007).

Estudios que investigan el efecto antioxidante de *Arthrospira platensis* han atribuido esta propiedad a la ficocianina ya que tiene propiedades de eliminación de radicales. Según Chopra y Bishnoi (2008) citados por Hernández (2016), el carácter antioxidante de la espirulina se le atribuye a componentes como la ficocianina, b-caroteno, tocoferol, el ácido

γ -linoléico y compuestos fenólicos. Mientras que como antioxidantes no enzimáticos se encuentran la ficobiliproteínas, vitaminas y compuesto fenólicos totales. Autores afirman que microalgas como la espirulina entre otras tienen un papel importante aliviando el estrés oxidativo (Abu Hafsa e Ibrahim, 2018; Shandy *et al.*, 2020)

V. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos bajo las condiciones en las que se llevó a cabo el presente estudio, se concluye que:

- El uso de espirulina al 0.15% en dietas de pollos de engorde no afecta el desempeño productivo de los animales.
- El uso de espirulina al 0.15% en dietas de pollos no afecta la integridad intestinal en cuanto al desarrollo de las vellosidades intestinales.
- Incluir 0.15% de espirulina hasta el día 21 en dietas de pollos de engorde no genera ningún efecto sobre la morfometría de la tibia.

VI. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos se recomienda lo siguiente:

- Realizar investigaciones donde se evalúen diferentes niveles de inclusión de espirulina en dietas de pollos de engorde.
- Realizar investigaciones de inclusión de espirulina en las dietas durante todo el periodo de engorde hasta lograr el peso de mercado (\approx 1-42 días)

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abou-Zeid, A. & Eldamrawy, Saad & Mariey, Y. & El-Mansy, M.. (2015). Effect of using *Spirulina platensis* and/or *Chlorella vulgaris* algae as feed additives on productive performance of broiler chicks. *Journal of Animal and Poultry Production*. 6. 623-634. <https://doi.org/10.21608/jappmu.2015.52940>.
- Abu Hafsa, S. H., Ibrahim, S. A. (2018). Effect of dietary polyphenol-rich grape seed on growth performance, antioxidant capacity and ileal microflora in broiler chicks. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 102(1), 268–275. <https://doi.org/10.1111/jpn.12688>
- Adeniran, O. (2015). Bone characteristics of broiler chickens fed diets supplemented with graded levels of vitamin C. *Agricultural Biology Journal of Nutrition*. Am,6: 30-33.
- Aguilar V, José, Zea M, Otto, & Vílchez P, Carlos. (2018). Rendimiento productivo e integridad ósea de pollos de carne en respuesta a suplementación dietaria con cuatro fuentes de fitasa comercial. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 29(1), 169-179. <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v29i1.14078>
- Alkhalaf, A & Alhaji, Mohammed & Al-Homidan, Ibrahim. (2010). Influence of probiotic supplementation on blood parameters and growth performance in broiler chickens. *Saudi journal of biological sciences*. 17. 219-25. <https://doi.org/.1016/j.sjbs.2010.04.005>.
- Almeida Paz, Ibiara & Mendes, AA & Balog, A & Carlos, Vulcano & Ballarin, Adriano & Almeida, ICL & Takahashi, SE & Komiyama, Cm & Silva, MC & Cardoso, KFG. (2008). Study on the bone mineral density of broiler suffering femoral joint degenerative lesions. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*. 10. 103-108. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2008000200005>.
- Alvarenga, Renata Ribeiro, Rodrigues, Paulo Borges, Cantarelli, Vinícius de Souza, Zangeronimo, Márcio Gilberto, Silva Júnior, José Walter da, Silva, Leonardo Rafael da, Santos, Luziane Moreira dos, Pereira, Luciano José. (2011). Energy values and

chemical composition of spirulina (*Spirulina platensis*) evaluated with broilers. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(5), 992-996. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000500008>

Al-Batshan, Hamad & Al-Mufarrej, Saud & Al-Homaidan, Ali. (2001). Enhancement of chicken macrophage phagocytic function and nitrite production by dietary *Spirulina platensis*. *Immunopharmacology and immunotoxicology*. 23. 281-9. <https://doi.org/10.1081/IPH-100103866>.

Anderson, D.W., Tang C.S. & Ross, E. (1991). The xanthophylls of *Spirulina* and their effect on egg yolk pigmentation. *Poultry Science* 70: 115-119. <https://doi.org/10.3382/ps.0700115>

Bailey R. (2013). Salud intestinal en las aves: el mundo interior. El Sitio avícola. Recuperado de: <http://www.elsitioavicola.com/articles/2463/salud-intestinal-en-las-aves-el-mundo-interior-1/>

Belay, A.; Ota, Y.; Miyakawa, K.; Shimamatsu, H. (1993). Current knowledge on potential health benefits of *Spirulina*. *Journal of Applied Phycology* 5, 235– 241. <https://doi.org/10.1007/bf00004024>

Bernal, S. (2011). Evaluación del aceite esencial de ore gano (*Origanum vulgare*) y jengibre deshidratado (*Zingiber officinale*) como alternativa al uso de antibióticos promotores de crecimiento en pollos de engorde. Tesis Bach. Medicina veterinaria y Zootecnia. Universidad peruana de ciencias y humanidades. Lima-Perú

Berti, J.O., (2003). Efeito de diferentes carboidratos na ração preinicial de frangos de corte o desempenho e a alometria dos órgãos. Tesis de MSc. Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Sao Pablo - Brasil.

Betancourt, S. (2017). Efecto de un núcleo de integridad intestinal en pollos de engorde en la avícola “Megaves” ubicada en el sector de Ascázui, provincia de Pichincha, Ecuador. Tesis para optar por el título de Ingeniero Agroindustrial y de alimentos. Universidad de los Andes. Ecuador.

Bohórquez, S. (2017). Efecto de la espirulina en el manejo de las alteraciones metabólicas relacionadas a la obesidad. Revisión sistemática. (Tesis para optar por el grado de Magíster en Gestión de Negocios de Nutrición). Universidad San Ignacio de Loyola. Lima-Perú

- Bolanho, B.C., Egea, M.B., Jacome, A.L.M. (2014). Antioxidant and nutritional potential of cookies enriched with *Spirulina platensis* and sources of fiber. *J. Food Nutr. Res.* 53, 171–179.
- Bravo A. (2012). Efecto de la suplementación de ácidos orgánicos sobre la morfometría intestinal en cuyes (*Cavia porcellus*) de crecimiento y engorde. (Tesis para optar por el grado de Médico Veterinario). Univ. Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Buttori, D., Di Ruscio, N. (2009). Microalga Spirulina (Arthrospira). Recuperado de: http://nicolasdiruscio.redirectme.net/wordpress/?page_id=152.
- Universidad de Almería, & Cerón, M. C. (2013). Producción de microalgas con aplicaciones nutricionales para humanos y animales (N.º 5). Perspectivas de la producción de alimentos en el medio acuático.
- Cervantes, H. (2011). Integridad intestinal en aves. Recuperado de: <https://www.industriaavicola.net/enfermedades-y-sanidad/integridad-intestinal-en-aves/>
- Chaiklahan, R., Chirasuwan, N., Siangdung, W., Paithoonrangsarid, K., Bunnag, B. (2010). Cultivation of *Spirulina platensis* using pig wastewater in a semi-continuous process. *Journal of microbiology and biotechnology*, 20(3), 609–614. <https://doi.org/10.4014/jmb.0907.07026>
- Chambers, J.R. and Gong, J. (2011). The intestinal microbiota and its modulation for salmonella control in chickens. *Food Res Int*, 44: 3149-3159. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.08.17>
- Chamorro G, Salazar M, Favila L, Bourges H (1996) Farmacología y toxicología del alga *Spirulina*. Resumen. *Rev. Invest. Clin.* 48: 389-399. Recuperado de: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-184210>
- Chamorro G, Salazar-Jacobo M (1995) Toxicología de la *Spirulina*. *Tecnología de alimentos* 30: 13-14.
- Chapman VJ and Chapman DJ. (1980). *Seaweeds and Their Uses*. 3rd Edition, Chapman and Hall, Ltd., London. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-009-5806-7>
- CHEONG, D. S. W., KASIM, A., SAZILI, A. Q., OMAR, H., & TEOH, J. Y. (2015). Effect of Supplementing *Spirulina* on Live Performance, Carcass Composition and Meat

Quality of Japanese Quail. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, 13(2), 77-84. <https://doi.org/10.14456/vol13iss3pp>

Cho, J. A., Baek, S. Y., Cheong, S. H., Kim, M. R. (2020). Spirulina Enhances Bone Modeling in Growing Male Rats by Regulating Growth-Related Hormones. *Nutrients*, 12(4), 1187. <https://doi.org/10.3390/nu12041187>

Costas, G. (2018). Espirulina: propiedades, beneficios, contraindicaciones, efectos secundarios y dónde comprarla. Obtenido de Ciencia y Biología. Recuperado de: <https://cienciaybiologia.com/los-beneficios-y-efectos-secundarios-de-la-espirulina/>

Dalle Zotte, Antonella & Cullere, Marco & A., Sartori & Bosco, Alessandro & Zs, Gerencsér & Zs, Matics & Kovacs, Melinda & Szendrő, Zsolt. (2014). Effect of Dietary supplementation of Spirulina (*Arthrospira platensis*) and Thyme (*Thymus vulgaris*) on carcass composition, meat physical traits and vitamin B12 content of growing rabbits. *World Rabbit Science*. 22. 11-19.

Devesh, Chauhan, Kritika, Mehla, Nair, Anroop y Sehajpal, Prabodh y Gupta, Dr. Sumeet. (2012). Spirulina reverses histomorphological changes in diabetic osteoporosis in Pioglitazone treated rats. *J of Diabetes and Metabolism*. 4. S001-S006.

Dismukes, G.; Carrieri, D.; Bennette, N.; Ananyev, G. M.; Posewitz, M. C., (2008) Aquatic phototrophs: efficient alternatives to land-based crops for biofuels. *Current Opinion in Biotechnology* 19, 235– 240. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.05.007>

Doreau, M.; Bauchart, D.; Chilliard, Y., (2010) Enhancing fatty acid composition of milk and meat through animal feeding. *Animal Production Science* 51, 19– 29. <https://doi.org/10.1071/AN10043>

El-Hady, A. M. A., & O. A. H. El-Ghalid. (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.

Earthrise Farms. (1988). Five years testing of heavy metals in Spirulina: 1983-1987. Henrikson, R.

Evans, A.M., Smith, D.L. y Moritz, J.S. (2015) Effects of algae incorporation into broiler starter diet formulations on nutrient digestibility and 3 to 21 d bird performance.

Journal of Applied Poultry Research 24: 206-214.
. <https://doi.org/10.3382/japr/pfv027>

- Faus, C. (2008). La integridad intestinal: factores asociados a su mantenimiento. Selección Avícola, Junio 2008, 11-16 p.
- Furbeyre, Hauteclair y Milgen, Jacob y Mener, T. y Gloaguen, M. & Labussière, Etienne. (2018). Effects of oral supplementation with Spirulina and Chlorella on growth and digestive health in piglets around weaning. *animal*. 12. 1-10. 10.1017/S1751731118000125.
- Garrido, F; Parada, V. (2008). Propiedades antioxidantes y funcionales de cinco algas chilenas sobre la calidad de pasta de salmón. Memoria para optar el título de Ingeniero de Alimentos. Universidad de Chile. Santiago de Chile- Chile.
- Geil, Mark. (2005). Consistency and accuracy of measurement of lower-limb amputee anthropometrics. *Journal of rehabilitation research and development*. 42. 131-40. 10.1682/JRRD.2004.05.0054.
- Gil, M. (2016). Algas como una alternativa en la nutrición en avicultura. Tesis para optar por el título de Médico Veterinario. Universidad nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú.
- González, E. (1997). Alimentación de las aves. 2 ed. Distrito Federal, MX. Editorial Trillas. P. 35-40.
- González GJ. 1987. Las algas de México. *Revista Ciencias*. Recuperado de: <http://www.ejournal.unam.mx/cns/no10/CNS01003.pdf>
- Gružauskas, R.; Lekavičius, R.; Racevičiūtė-Stupelienė, A.; Šašytė, V.; Tėvelis, V.; and Švirnickas, G. J., (2004). Viščiukų broilerių virškinimo procesų optimizavimas simbiotiniais preparatais. *Vet. Irzoote*, 28(50): 51- 56.
- Habib, M. A. B., P. Mashuda, T. C. Huntington y M. R. Hasan. (2008). A review on culture, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular* (vol. 1034).
- Hajati, H., Zaghari, M. (2019). Effects of Spirulina platensis on Growth Performance, Carcass Characteristics, Egg Traits and Immunity Response of Japanese Quails. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 9(2), 347-357. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2018-0977>

- Hajati, H, Zaghari, M, & Oliveira, HC. (2020). Arthrospira (Spirulina) Platensis Can Be Considered as a Probiotic Alternative to Reduce Heat Stress in Laying Japanese Quails. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 22(1), eRBCA-2018-0977. Epub June 05, 2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2018-0977>
- Henrikson, R. (2010). *Spirulina World Food*. Maui: Ronore Enterprises, Inc
- Hernández, F. (2016). Efecto de la deficiencia de nitrógeno y la radiación UV en la actividad fotosintética y en los compuestos antioxidantes de las cianobacterias Spirulina (Arthrospira) máxima y Phormidium persicinum. (Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias). Centro de investigaciones biológicas del Noroeste, La Paz – Baja California.
- Hernandez, F., J. Madrid, V. Garcia, J. Orengo and M.D. Megias. (2004). Influence of two plant extracts on broilers performance, digestibility and digestive organ size. *Poult. Sci.*, 83: 169-174. <http://dx.doi.org/10.1093/ps/83.2.169>
- Hernández-Pérez, Alexis, & Labbé, José I. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de biología marina y oceanografía*, 49(2), 157-173. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572014000200001>
- Hynstova, V., Sterbova, D., Klejdus, B., Hedbavny, J., Huska, D., & Adam, V. (2018). Separation, identification and quantification of carotenoids and chlorophylls in dietary supplements containing Chlorella vulgaris and Spirulina platensis using High Performance Thin Layer Chromatography. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 148, 108–118. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2017.09.018>
- Ishimi, Y., Sugiyama, F., Ezaki, J., Fujioka, M., & Wu, J. (2006). Effects of spirulina, a blue-green alga, on bone metabolism in ovariectomized rats and hindlimb-unloaded mice. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 70(2), 363–368. Recuperado de: <https://doi.org/10.1271/bbb.70.363>
- Jamil, ABM, Akanda, M., Rahman, M., Hossain, M. e Islam, M. (2015). Competencia prebiótica de la espirulina en el rendimiento de producción de pollos de engorde. *Revista de investigación veterinaria y animal avanzada*, 2 (3), 304-309. Recuperado de: <https://www.banglajol.info/index.php/JAVAR/article/view/24862>

- Jaramillo, A.H. (2012). Evaluación de la mezcla de un ácido orgánico y un prebiótico en los parámetros productivos y alométricos de pollos de engorde con alimentación controlada. *Revista Colombiana de ciencia animal*.
- Jensen A. (1972). The nutritive value of seaweed meal for domestic animals. In: *Proceedings of the Seventh International Seaweed Symposium*. Universidad de Tokyo.
- Jeong, J. S., and I. H. Kim. (2014). Effect of *Bacillus subtilis* C-3102 spores as a probiotic feed supplement on growth performance, noxious gas emission, and intestinal microflora in broilers. *Poult.Sci.* 93:3097–3103 <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04086>
- Kaoud, H. (2012). Effect of spirulina platensis as a dietary supplement on broiler performance in comparison with prebiotics. *Scientific Journal of Applied 165 Research*,44-48.
- Kaushik, P., & A. Chauhan. (2008). In vitro antibacterial activity of laboratory grown culture of *Spirulina platensis*. *Indian J. Microbiol.* 48:348–352. <https://doi.org/10.1007/s12088-008-0043-0>
- Khan, M.; Shobha, J. C.; Mohan, I. K.; Naidu, M. U. R.; Sundaram, C.; Singh S.; & Kutala, V. K., (2005). Protective effect of *Spirulina* against doxorubicin-induced cardiotox. <https://doi.org/10.1002/ptr.1783>
- Khan, Sarzamin & Mobashar, Muhammad & Mahsood, Farid & Javaid, Shahbaz & Abdel-Wareth, Ahmed & Ammanullah, Haq & Mahmood, Asif. (2020). *Spirulina* inclusion levels in a broiler ration: evaluation of growth performance, gut integrity, and immunity. *Tropical Animal Health and Production*. 10.1007/s11250-020-02349-9.
- Kulpys, J.; Paulauskas, E.; Pilipavicius, V.; Stankevicius, R., (2009): Influence of cyanobacteria *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* biomass additive towards the body condition of lactation cows and biochemical milk indexes. *Agronomy Research* 7, 823– 835.
- Lykkesfeldt, J., & Svendsen, O. (2007). Oxidants and antioxidants in disease: oxidative stress in farm animals. *Veterinary journal (London, England : 1997)*, 173(3), 502–511. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2006.06.005>

- Madeira, M; Cardoso, P; Lopes, D; Coelho, C; Afonso, N; Bandarra, y Prates, J. (2017). Microalgae as feed ingredients for livestock production and meat quality: a review. *Livest. Sci.* 205:111–121.
- Mahmoud, M., El-Lamie, M., Kilany, O. E., & Dessouki, A. A. (2018). Spirulina (*Arthrospira platensis*) supplementation improves growth performance, feed utilization, immune response, and relieves oxidative stress in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) challenged with *Pseudomonas fluorescens*. *Fish & shellfish immunology*, 72, 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.11.006>
- Mangaban, L.M., Zafaralla, M.T., Spain, A.B. & Vidal, L.R. (1987). Nutritional Evaluation of Spirulina. *The Philippine Agriculturist*. 70:77
- Maoka, T., (2011). Carotenoids in marine animals. *Mar. Drugs* 9, 278-293.
- Mariey Y.A., Samak H.R. and Ibrahem M.A. (2012). Effect of using spirulina platensis algae as a feed additive for poultry diets: 1- productive and reproductive performances of local laying hens. *Egypt Poult. Sci.* 32, 201-215.
- Mariey Y.A., Samak H.R., Abou-Khashba H.A., Sayed M.A.M. and Abou-Zeid A.E. (2014). Effect of using Spirulina platen-sis algae as a feed additive for poultry diets. *Egypt Poult. Sci.* 34, 245-258.
- Marion, J.; Biernat, M.; Thomas, F.; Savary, G.; Le Breton, Y.; Zabielski, R.; Le Huërou-Luron, I. & Le Dividich, J. (2002). Small intestine growth and morphometry in piglets weaned at 7 days of age. effects of level of energy intake. *Reprod Nutr Dev*, 42: 339-354. <https://doi.org/10.1051/rnd:2002030>
- Martínez P., D. (2012). Evaluación de un producto a base de aceite esencial de orégano sobre la integridad intestinal, la capacidad de absorción de nutrientes y el comportamiento productivo de pollos de carne. Tesis para optar el grado de Mg. Sc. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Mateo, E. (2018). Correlación entre la deformación de quilla con la conformación de pechuga y la integridad esquelética en pollos de engorde. (Tesis para optar por el grado de Ingeniero Zootecnista). Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.

- Mayada, R.; Mahmoud, A.; Mohamed, E.; Kuldeep, D. (2016). Nutritional and Healthical aspects of spirulina (*Arthrospira*) for Poultry, Animal and human. *Int. J.Pharmacol.*, 12:36-51. <https://doi.org/10.3923/ijp.2016.36.51>
- McHugh DJ. (2002). Perspectivas para la producción de algas marinas en los países en desarrollo. FAO Circular de Pesca. N° 968, Roma.
- MINAGRI. (2020). Pollo: Comercialización en Lima Metropolitana. Lima-Perú.
- Miranda, R. (2018). Microbiota digestiva del cerdo: determinación del patrón en condiciones de salud y enfermedad. Tesis para optar por el título de Doctor en ciencias veterinarias y de los alimentos. Universidad de León. León, México.
- Mišurcová, L., Buňka, F., Vávra Ambrožová, J., Machů, L., Samek, D., & Kráčmar, S. (2014). Amino acid composition of algal products and its contribution to RDI. *Food chemistry*, 151, 120–125. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.040>
- Moen, B., Henjum, K., Måge, I., Knutsen, S.H., Rud, I., Hetland, R.B. & Paulsen, J.E. (2016). Effect of dietary fibers on cecal microbiota and intestinal tumorigenesis in azoxymethane treated A/J Min/+ mice. *PLoS ONE*. 11, e0155402. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155402>
- Moine, R., Galán, A.M., Vivas, A.B., Fioretti, C., Varela, M., Bonino, F., Quinteros, R., & Natali, J. (2015). Propiedades Morfológicas en la Parte Media de la Díafisis del Hueso Metacarpiano III de Equino Mestizo Criollo. *International Journal of Morphology*, 33, 955-961. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022015000300024>
- Mora, C. (2012). Evaluación de spirulina en la alimentación de pollos broiler en la ponderosa km 7 ½ de la parroquia Puerto Limón de la provincia de Santo Domingo de los Tsachilas. Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. UTC. Latacunga. 87 p.
- Murakami, A.; Fernandes, J.; Hernandez, L.; Santos, T. (2012) Effects of starter diet supplementation with arginine on broiler production performance and on small intestine morphometry. *Pesq Vet Bras* 32: 259-266. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-736X2012000300014>
- Abu-Elala, Nermeen. (2016). Effects of Dietary Supplementation of Spirulina platensis and Garlic on the Growth Performance and Expression Levels of Immune-related Genes

- in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Journal of Aquaculture Research & Development. 07. 10.4172/2155-9546.1000433.
- Nege, Aondohemba & Masithah, Endang & Khotib, Junaidi. (2020). Trends in the Uses of Spirulina Microalga: A mini-review. Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan. 12. 149. 10.20473/jipk.v12i1.17506.
- Neyrinck, AM, Taminiau, B., Walgrave, H., Daube, G., Cani, PD, Bindels, LB y Delzenne, NM (2017). La espirulina protege contra la inflamación hepática en el envejecimiento: ¿un efecto relacionado con la modulación de la microbiota intestinal? Nutrientes. 9 (6), 633. <https://doi.org/10.3390/nu9060633>
- Nunes M.A (2014) Ajustando microflora intestinal con simbióticos-una herramienta eficiente para controlar la disbiosis en aves. Conferencia presentada en XXIII Congreso latinoamericano de Avicultura 2013 de la Asociación Latinoamericana de Avicultura (ALA). El Salvador
- Ortiz. A. (2005). Salud intestinal. Ajuste de dietas. Recuperado de: <http://bibliotecavirtual.corpmontana.com/bitstream/handle/123456789/2538/M001237.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Pandav, Parag & Puranik, Pravin. (2015). Trials on metal enriched Spirulina platensis supplementation on poultry growth. 4. 128- 134.
- Park, J. H., Lee, S. I., & Kim, I. H. (2018). 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. Poultry science, 97(7), 2451–2459. <https://doi.org/10.3382/ps/pey093>
- Pedraza, G. (1989). Cultivo de Spirulina máxima para suplementación proteica. Livestock. Research for Rural Development. Recuperado de: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/lrrd/lrrd1/1/gloria.htm>
- Pestana, J.; Puerta, B.; Santos, H.; Madeira, M.; Alfaia, C.; Lopes, P.; Pinto, R.; Lemos, J.; Fontes, C.; Lordelo, M.; Prates, M. (2020). Impact of dietary incorporation of Spirulina (*Arthrospira platensis*) and exogenous enzymes on broiler performance, carcass traits, and meat quality. 2020 Poultry Science 99:2519–2532. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.069>

- Puente, J. (2018). Efecto de la suplementación de diferentes niveles de probiótico sobre la histomorfometría del intestino delgado del cuy (*Cavia porcellus*). (Tesis para optar el título profesional de Médico Veterinario). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú
- Puente V, Jhosseline, Carcelén C, Fernando, Ara G, Miguel, Bezada Q, Sandra, Huamán C, Amparo, Santillán, Gilberto, Perales, Rosa, Guevara V, Jorge, & Asencios M, Ana. (2019). Efecto de la suplementación con niveles crecientes de probióticos sobre la histomorfometría del intestino delgado del cuy (*Cavia porcellus*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(2), 624-633. <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i2.16086>
- Qureshi, M.; Garlich, D.; Kidd, M.; & Ali, R., (1994). Immune enhancement potential of *Spirulina platensis* in chickens. *Poult. Sci* 73: 46.
- Rania, M. A., & M. T. Hala. (2008). Antibacterial and antifungal activity of cyanobacteria and green microalgae. Evaluation of medium components by placket-burman design for antimicrobial activity of *Spirulina platensis*. *Global J. Biotechnol. Biochem.* 3:22–31.
- Rath, C.; Balog, J.; Huff, W.; Huff, G.; Kukarni, G.; Tierce, J. (1999). Comparative differences in the composition and biomechanical properties of tibiae of seven- and seventy-two-week-old male and female broiler breeder chickens *Poult. Sci.*, 78 (1999), pp. 1232-1239. <https://doi.org/10.1093/ps/78.8.1232>
- Remirez, Diadelis & Gonzalez, Ricardo & Merino, Nelson & Rodríguez, Sandra & Ancheta, Odelsa. (2002). Inhibitory effects of *Spirulina* in zymosan-induced arthritis in mice. *Mediators of inflammation*. 11. 75-9. [10.1080/09629350220131917](https://doi.org/10.1080/09629350220131917).
- Rojas, E. (2016). Efecto de dos fitasas exógenas sobre el comportamiento productivo, morfometría ósea e integridad esquelética en pollos de carne. Tesis para optar el Título de Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Rombout, J. H., Abelli, L., Picchiatti, S., Scapigliati, G., Kiron, V. (2011). Teleost intestinal immunology. *Fish & shellfish immunology*, 31(5), 616–626. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2010.09.001>

- Salim, H. M., Kang, H. K., Akter, N., Kim, D. W., Kim, J. H., Kim, M. J., Na, J. C., Jong, H. B., Choi, H. C., Suh, O. S., & Kim, W. K. (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. *Poultry science*, 92(8), 2084–2090. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02947>
- Sánchez, Nora, Bu, Margarita, León, Niurka, & Pérez-Saad, Héctor. (2002). Fundamentos de una posible acción beneficiosa de la *Spirulina platensis* en las neuropatías periféricas. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 7(3) Recuperado en 11 de julio de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962002000300008&lng=es&tlng=es.
- Sánchez-Chipres, D.; Arriaga-Ruíz, M.; Reyes, D.; Barragáncano, V. (2016). Use of *Spirulina maxima* algae as a prebiotic additive in chicken for fattening and its nutraceuticals effects on the intestinal integrity and antimicrobial effect vs *Salmonella* spp. *ECORFAN Journal-Ecuador* 2016, 3-5:19-25.
- Saxena, P. N.; Ahmad, M. R.; Shyam, R.; Amla, D. V., (1983). Cultivation of *Spirulina* in sewage for poultry feed. *Experientia* 39, 1077– 1083. <https://doi.org/10.1007/BF01943117>
- Selim, Shaimaa & Hussein, Eman & Abou-elkhair, Reham. (2018). Effect of *Spirulina platensis* as a feed additive on laying performance, egg quality and hepatoprotective activity of laying hens Einfluss von *Spirulina platensis* als Futterzusatzstoff auf die Legeleistung, die Eiqualität und den Leberschutz von Legehennen.
- Seyidoglu, Nilay & Inan, Sevda & Aydin, Cenk. (2017). A Prominent Superfood: *Spirulina platensis*. 10.5772/66118. <https://doi.org/10.5772/66118>
- Shanmugapriya, B., Saravana Babu, S., Hariharan, T., Sivaneswaran, S., Anusha, M. (2015). Dietary administration of *spirulina platensis* as probiotics on growth performance and hispathology in broiler chicks. *International Journal of Recent Scientific Research*, 2650-2653. <https://doi.org/10.4314/sajas.v48i1.12>
- Sixabela, P.S.S. & Chivandi, Eliton & Badenhorst, M. & Erlwanger, Kennedy. (2011). The Effects of Dietary Supplementation with *Spirulina platensis* in Growing Rats. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*. 6. 609-617. 10.3923/ajava.2011.609.617.

- Sugiharto, S. Lauridsen, C. (2016). Dietary *Chlorella* supplementation effect on immune responses and growth performances of broiler chickens exposed to post hatch holding time. *Livestock Research for Rural Development*. 28. 1-6
- Tavernari, F.; Salguero, S.; Albino, L.; Rostagno, H. (2008). Nutrición, Patología y fisiología en pollos: aspectos prácticos. Universidad Federal de Vicosa. Vicosa-Brasil.
- Torres-Duran, P.V., Ferreira-Hermosillo, A. & Juarez-Oropeza, M.A. Antihyperlipemic and antihypertensive effects of *Spirulina maxima* in an open sample of mexican population: a preliminary report. *Lipids Health Dis* 6, 33 (2007). <https://doi.org/10.1186/1476-511X-6-33>
- Uculmana M., C. (2015). Efecto de la relación calcio: fósforo disponible sobre el crecimiento alométrico, morfometría, integridad y mineralización ósea en pollos de engorde. Tesis para optar el Título de Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- FoodData Central. (2019, 4 enero). U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. USDA. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/595824/nutrients>
- Vázquez-Velasco, M., González-Torres, L., López-Gasco, P., Bastida, S., Benedí, J., Sánchez-Reus, M. I., González-Muñoz, M. J., & Sánchez-Muniz, F. J. (2014). Liver oxidation and inflammation in Fa/Fa rats fed glucomannan/spirulina-surimi. *Food chemistry*, 159, 215–221. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.015>
- Vásquez, H. (2016). Efecto de un concentrado proteico en dietas de pre-inicio sobre respuesta productiva, inmunocompetencia y metabolismo energético de pollos de carne. Tesis para optar el Título de Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Vásquez, M. (2014). Morfometría de la mucosa del intestino delgado de crías de alpacas (*Vicugna pacos*). Tesis para optar el Título de Médico Veterinario. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú
- Venkataraman, L. V.; Somasekaran, T.; Becker, E. W., (1994) Replacement value of blue-green alga (*Spirulina platensis*) for fishmeal and a vitamin-mineral premix for broiler chicks. *British Poultry Science* 35, 373– 381. <https://doi.org/10.1080/00071669408417702>

- Weeks, C. A., Danbury, T. D., Davies, H. C., Hunt, P., & Kestin, S. C. (2000). The behaviour of broiler chickens and its modification by lameness. *Applied animal behaviour science*, 67(1-2), 111–125. [https://doi.org/10.1016/s0168-1591\(99\)00102-1](https://doi.org/10.1016/s0168-1591(99)00102-1)
- Zahir, U; AnwarullHaque, B.; Maksuda, B.; Mahfuj, U. (2019). Effect of dietary supplement of algae (*Spirulina platensis*) as an alternative to antibiotics on growth performance and health status of broiler chickens. *Int. J. Poult. Sci.*, 18:576-584 <https://doi.org/10.3923/ijps.2019.576.584>
- Zelenka, Jiří. (2013). Allometric growth of copper, zinc, manganese and iron in slow- and fast-growing young chickens. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 61. 237-241. <https://doi.org/10.11118/actaun201361010237>.
- Zuidhof MJ, Schneider BL, Carney VL, Korver DR, Robinson FE (2014) Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. *Poult Sci* 93(12):2970–2982. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04291>

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Peso vivo.

Parámetro	Tratamientos								P-value
	T1				T2				
Repetición	1	2	3	4	1	2	3	4	
Peso inicial, g	47.20	47.64	47.52	47.52	47.24	47.68	47.52	47.64	0.728
Peso al día 7, g	202.68	244.30	229.12	211.76	206.20	223.24	233.24	234.48	0.844
Peso al día 14, g	581.52	637.00	574.92	627.64	565.56	654.28	665.20	642.20	0.373
Peso al día 21, g	1191.20	1218.75	1149.60	1289.72	1097.64	1320.40	1309.64	1289.72	0.512

T1: Dieta Control; **T2:** Dieta con 0.15% espirulina.

Anexo 2: Consumo de alimento

Parámetro	Tratamiento								P-value
	T1				T2				
Repetición	1	2	3	4	1	2	3	4	
Consumo día 7, g	164.56	181.16	180.84	187.72	178.60	181.48	192.16	182.08	0.417
Consumo día 14, g	560.28	669.51	611.44	679.32	726.48	673.48	681.92	671.56	0.105
Consumo día 21, g	1358.04	1432.71	1344.76	1508.08	1509.04	1549.32	1445.92	1458.48	0.124

T1: Dieta Control; **T2:** Dieta con 0.15% espirulina.

Anexo 3: Ganancia diaria de peso y Conversión alimenticia

Parámetro	Tratamiento								P-value
	T1				T2				
Repetición	1	2	3	4	1	2	3	4	
GDP día 7	155.48	196.66	181.60	164.24	158.96	175.56	185.72	186.84	0.846
GDP día 14	534.32	589.36	527.40	580.12	518.32	606.60	617.68	594.56	0.372
GDP día 21	1144.00	1171.11	1102.08	1242.20	1050.40	1272.72	1262.12	1242.08	0.512
C.A día 7	1.06	0.92	1.00	1.14	1.12	1.03	1.03	0.97	0.838
C.A día 14	1.05	1.14	1.16	1.17	1.40	1.11	1.10	1.13	0.483
C.A día 21	1.19	1.22	1.22	1.21	1.44	1.22	1.15	1.17	0.645

T1: Dieta Control; **T2:** Dieta con 0.15% espirulina.

CA: Conversión alimenticia

GDP: Ganancia diaria de peso

Anexo 4: Peso de órganos

Tratamiento	Repetición	Peso (g)										
		Grasa abdominal	Intestinos	Longitud intestinal	Corazón	Molleja	Proventrículo	Hígado	Páncreas	Ciegos	Piernas	Patas
1	1	9.56	53.82	169.00	7.17	23.36	5.59	26.00	3.79	17.23	302.00	51.50
1	2	10.65	43.29	170.50	8.75	21.25	5.37	25.67	3.50	9.96	299.00	52.50
1	3	10.33	38.98	155.00	7.83	20.48	6.72	23.97	3.20	11.01	261.50	49.00
1	4	8.23	49.41	170.00	8.38	24.95	5.57	31.18	3.73	10.85	331.50	52.00
Promedio		9.69	46.37	166.13	8.03	22.51	5.81	26.70	3.55	12.26	298.50	51.25
2	1	10.74	50.69	173.50	10.08	26.57	6.87	29.42	3.39	10.13	315.50	51.50
2	2	7.53	52.65	169.50	10.61	21.91	5.81	31.58	3.78	6.53	323.00	55.50
2	3	14.86	54.22	179.00	9.65	26.25	6.46	30.85	3.68	7.71	324.50	56.00
2	4	12.36	51.47	162.00	9.43	20.81	5.81	31.99	3.28	6.07	319.00	54.50
Promedio		11.37	52.25	171.00	9.94	23.88	6.23	30.96	3.53	7.61	320.50	54.38
P- value		0.343	0.131	0.381	0.004	0.472	0.333	0.042	0.914	0.05	0.18	0.049

T1: Dieta Control; T2: Dieta con 0.15% espirulina.

Anexo 5: Desarrollo de la pechuga.

Tratamiento	Repetición	Peso pechuga (g)	Profundidad de pecho (cm)	Ancho de pecho (cm)	Largo de pecho (cm)
1	1	260.00	27.51	8.15	13.50
1	2	278.50	21.92	9.40	13.65
1	3	272.00	24.81	9.00	13.05
1	4	285.00	25.80	9.20	13.50
Promedio		273.88	25.01	8.94	13.43
2	1	276.50	25.42	9.25	13.35
2	2	344.50	27.48	9.70	13.45
2	3	273.50	24.87	9.25	13.65
2	4	294.00	25.71	9.50	13.00
Promedio		297.13	25.87	9.43	13.36
<i>P-value</i>		0.227	0.534	0.15	0.751

T1: Dieta Control; **T2:** Dieta con 0.15% espirulina.

Anexo 6: Morfometría de la tibia en pollos de 21 días de edad

Tratamiento	Repetición	Peso de tibia (g)	Longitud de tibia (cm)	Diámetro de tibia (cm)
1	1	3.05	68.09	6.52
1	2	3.36	69.15	6.61
1	3	2.83	66.33	6.02
1	4	3.16	69.87	6.77
Promedio		3.10	68.36	6.48
2	1	3.17	70.06	6.83
2	2	3.47	68.54	7.06
2	3	2.85	66.83	6.33
2	4	3.03	69.64	6.17
Promedio		3.13	68.77	6.60
<i>P-value</i>		0.873	0.711	0.676

T1: Dieta Control; **T2:** Dieta con 0.15% espirulina.

Anexo 7: Morfología intestinal

¹ Tratamiento	² Variable				
	Altura de vellosidad (µm)	Profundidad de cripta (µm)	Ancho de vellosidad (µm)	Área de vellosidad	Altura/Prof.
1	689.13	122.83	102.58	67,652	6.06
1	703.01	117.17	116.63	72,702	6.18
1	1077.14	96.22	103.47	89,414	11.30
1	1097.84	121.85	104.46	107,707	9.20
1	768.74	112.77	131.14	87,349	7.44
1	848.69	138.39	116.20	88,002	6.47
1	839.13	134.31	116.15	86,322	6.85
1	1107.99	118.14	121.72	137,612	9.81
1	1086.29	77.00	112.81	115,341	15.54
1	905.29	143.36	135.22	107,534	6.93
Promedio (µm) (T1)	912.33	118.20	116.04	95963.32	8.58
2	1122.03	124.96	116.38	113,547	9.38
2	952.83	120.90	119.46	90,903	8.78
2	1089.19	145.29	150.51	136,942	7.83
2	1074.44	134.97	116.53	101,640	8.39
2	755.46	104.58	109.58	77,034	7.64
2	1262.88	131.41	120.81	132,507	9.89
2	1068.55	104.51	93.98	91,280	10.64
2	1200.55	102.33	115.87	110,574	12.65
2	874.35	132.81	127.05	104,064	7.03
2	1225.60	115.39	106.37	119,357	11.15
Promedio (µm) (T2)	1062.59	121.71	117.65	107784.80	9.34
<i>P-value</i>	0.056	0.659	0.785	0.34	0.499

¹T1: Dieta Control; T2: Dieta con 0.15% espirulina.

²Cada variable fue evaluada en 10 animales