

## Rendimiento productivo y morfometría intestinal del pollo de engorde sometido a dietas con inclusión de espirulina (*Arthrospira platensis*)

### Productive performance and intestinal morphometry of broilers subjected to diets including spirulina (*Arthrospira platensis*)

Nadia Fuentes N.<sup>1\*</sup>, Fernando Carcelén C.<sup>2</sup>, Marco Gutierrez T.<sup>4</sup>,  
Miguel Ara G.<sup>2</sup>, Jimny Nuñez D.<sup>3</sup>

#### RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la espirulina (*Arthrospira platensis*) sobre el rendimiento productivo (GP: ganancia de peso, CA: conversión alimenticia, ICA: índice de conversión alimenticia, IEPE: índice de eficiencia productiva europeo) y la morfometría intestinal (LV: longitud de vellosidad, AV: ancho de vellosidad, PC: profundidad de cripta y LV/PC: relación longitud de vellosidad/profundidad de cripta) en pollos de engorde. Se emplearon 240 pollos machos de un día de edad de la línea Cobb 500, distribuidos en cuatro tratamientos con seis réplicas de 10 pollos cada uno. Los tratamientos fueron: T0: dieta base sin espirulina (control), T1: dieta base con 0.25% de

<sup>1</sup> Centro de Investigación IVITA, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Huaral, Perú

<sup>2</sup> Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y Alimentación Animal, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

<sup>3</sup> Laboratorio de Producción Avícola y Especies Menores, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

<sup>4</sup> Unidad de Investigación y Desarrollo, AG-RESEARCH, Huancayo, Perú

\* E-mail: [nfuentesn@unmsm.edu.pe](mailto:nfuentesn@unmsm.edu.pe)

Esta investigación fue financiada por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Resolución Rectoral N.º 016370-R-20 con Código de Proyecto A20080035

Recibido: 9 de junio de 2023

Aceptado para publicación: 9 de septiembre de 2023

Publicado: 31 de octubre de 2023

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

espirulina, T2: dieta base con 0.5% de espirulina, T3: dieta base con 1% de espirulina. Se empleó un diseño de bloques completamente al azar. El efecto de los niveles crecientes de espirulina se evaluó por contrastes ortogonales polinómicos de tipo lineal y cuadrático. Las variables GP y CA presentaron un comportamiento cuadrático mientras que el ICA e IEPE mostraron un comportamiento lineal. El nivel óptimo de espirulina que maximiza la ganancia de peso fue de 0.68% con un valor predictivo de 3330 g. Los niveles crecientes de espirulina no afectaron las medidas morfométricas de LV y AV a nivel de duodeno, yeyuno e íleon; en tanto, se obtuvieron respuestas lineal significativas en la PC y LV/PC en yeyuno y en LV/PC en íleon como respuesta a los niveles crecientes de espirulina en la dieta. Se concluye que los niveles crecientes de espirulina influyen sobre el rendimiento productivo en condiciones experimentales, mientras que no fueron concluyentes para la morfometría intestinal en pollos Cobb 500 a los 42 días de edad.

**Palabras clave:** pollo de engorde, microalga, parámetro productivo, longitud de vellosidad intestinal

## ABSTRACT

The aim of this study was to determine the effect of spirulina (*Arthrospira platensis*) on productive performance (WG: weight gain, FI: feed intake, FCR: feed conversion ratio, EPEI: European productive efficiency index) and intestinal morphometry (VL: villus length, VW: villus width, CD: crypt depth) in broilers. In total, 240 one-day-old male chicks from the Cobb 500 line were used, distributed into four treatments with six replicates of 10 chicks each. The treatments were: T0: base diet without spirulina (control), T1: base diet with 0.25% spirulina, T2: base diet with 0.5% spirulina, T3: base diet with 1% spirulina. A completely randomized block design was used. The effect of increasing levels of spirulina was evaluated by linear and quadratic polynomial orthogonal contrasts. The WG and FI variables showed quadratic trend while FCR and EPEI showed linear trend. The optimal level of spirulina that maximizes weight gain was 0.68% with a predictive value of 3330 g. The increasing levels of spirulina did not affect the morphometric measurements of VL and VW at the level of duodenum, jejunum and ileum; therefore, significant linear responses were obtained in CD and VL/CD in jejunum and in VL/CD in ileum as a response to the increasing levels of spirulina in the diet. It was concluded that the increasing levels of spirulina influence the productive performance under experimental conditions while they were not conclusive for intestinal morphometry in Cobb 500 chicks at 42 days of age.

**Key words:** broiler, microalgae, productive parameter, intestinal villus length

## INTRODUCCIÓN

El sector avícola en el Perú representa una importante contribución al valor bruto de la producción agropecuaria (26.3%), evidenciando un crecimiento sostenido. La carne de pollo representa la principal fuente de proteína animal, alcanzando consumos de 50.96

kg/hab/año (MIDAGRI, 2022), posicionando al Perú como el mayor consumidor de carne de pollo en América Latina (Industria Avícola, 2020). Debido a la demanda de carne de pollo, las explotaciones de crianza intensiva utilizan antibióticos promotores de crecimiento (APC) para prevenir enfermedades y mejorar la producción. Sin embargo, diversos estudios (Sinovec y Markovic, 2005; Cota-Ru-

bio *et al.*, 2014; Ardoino *et al.*, 2017) demostraron que el consumo continuo de dietas con APC promueve la resistencia bacteriana en humanos. Ante esto, los Estados Unidos de América y la Unión Europea han establecido normas que prohíben el uso de APC en la alimentación animal (Cervantes, 2007).

En dicho sentido, es responsabilidad del sector avícola nacional brindar productos accesibles, inocuos y de alto valor nutritivo (Berrocal, 2019) sin los riesgos de los APC, por lo que se vienen buscando nuevas estrategias nutricionales (Castanon, 2007) para el reemplazo parcial o total de los APC. Entre estas estrategias se encuentra el uso de probióticos, prebióticos, antioxidantes, enzimas exógenas (Dhama *et al.*, 2014) y hierbas o fitogénicos (Abudabos *et al.*, 2018) con efecto antimicrobiano, antioxidante, antiinflamatorio y de modulación del microbiota intestinal y, por lo tanto, con potencial para mejorar la producción avícola (Molina, 2022).

La espirulina (*Arthrospira platensis*) es una microalga verde-azul, ampliamente distribuida en la naturaleza, y se le ha empleado durante muchos años como alimento debido a los altos niveles de proteína (Dillon *et al.*, 1995; Bensehaila *et al.*, 2015), minerales, vitaminas, pigmentos como carotenoides y C-ficocianina (Park *et al.*, 2018a), y carbohidratos (Salmeán *et al.*, 2015; Seyidoglu *et al.*, 2017). Sin embargo, la espirulina puede también ser utilizada como ingrediente funcional (Pulz y Gross, 2004), debido a que presenta actividad biológica como antioxidante, por la presencia de ficocianina (Mirzaie *et al.*, 2018; Momo *et al.*, 2021), betacaroteno y tocoferol, lo cuales retrasan o inhiben la oxidación de los lípidos (El-Desoky *et al.*, 2013; Kuhad *et al.*, 2006). Park *et al.* (2018a) demostraron que la adición de hasta 1% de espirulina en la dieta estimuló la actividad de las enzimas antioxidantes, especialmente de superóxido dismutasa, la cual se incrementa en forma lineal. Asimismo, el ácido linolénico, ácido graso láurico y ácido

palmitoleico de la espirulina (El-Sheekh *et al.*, 2014) tienen actividad antimicrobiana y mejoran la capacidad de absorción y la digestibilidad de los nutrientes. Algunos autores también han demostrado que el uso de espirulina disminuyó la población de coliformes en el íleon del pollo (Toyomizu *et al.*, 2001; Fathi *et al.*, 2018; Zahir *et al.*, 2019), e incrementó las bacterias ácido-lácticas (Shanmugapriya *et al.*, 2015a), demostrando su actividad prebiótica (De Jesus-Raposo *et al.*, 2016).

El efecto de espirulina en la producción ha sido probado en diversas especies de animales como peces (Zhang *et al.*, 2020), corderos (Holman *et al.*, 2012), cerdos (Šimkus *et al.*, 2013), aves (Jamil *et al.*, 2015; Madeira *et al.*, 2017; Selim *et al.*, 2018; Pango, 2021), incluyendo codornices (Hajati y Zaghari, 2019; Cheong *et al.*, 2015). Investigaciones usando la línea de pollos Cobb probaron el efecto de la inclusión de espirulina hasta los 28, 35 y 38 días sobre los parámetros productivos con resultados variables (Jamil *et al.*, 2015; Fathi *et al.*, 2018; Zahir *et al.*, 2019).

La longitud de vellosidad (LV) y la profundidad de la cripta de Lieberkühn (PC) se relacionan con la capacidad digestiva del intestino delgado (Pango, 2021). Estudios realizados por Asmaz y Seyidoglu (2022) mostraron que dosis de 1000 mg/kg de espirulina en el alimento incrementaron la LV y la relación LV/PC (RLP) y disminuyeron la PC en el duodeno de ratas Wistar alimentadas por 45 días. Adicionalmente, Furbeyre *et al.* (2017) reportaron que 1% de espirulina en la dieta aumentó la LV en el yeyuno en lechones destetados, mientras El-Hady *et al.* (2022) demostraron su influencia favorable sobre la LV y la RLP en pollos.

Los pollos Cobb son la línea genética que predomina en Perú (hasta en un 60%), en la cual el pollo de engorde es consumido a la edad de 42 días (MINAGRI, 2015). Sin embargo, no hay experiencias sobre el efecto de la espirulina en pollos de engorde en el

país. Ante esto, el objetivo del estudio fue determinar el efecto de la inclusión de espirulina en la dieta sobre el rendimiento productivo y morfometría intestinal del pollo de engorde en condiciones experimentales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar de Estudio

La fase de crianza se llevó a cabo en los galpones experimentales del Laboratorio de Producción Avícola y Especies Menores (LPAYEM), en tanto que las evaluaciones histológicas se realizaron en el Laboratorio de Anatomía Animal, ambos en la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

### Arreglo Experimental

Se utilizaron 240 pollos machos de la línea Cobb 500 distribuidos aleatoriamente en 4 tratamientos con 6 repeticiones cada uno. Se empleó un diseño de bloques completamente al azar. Las unidades experimentales estuvieron conformadas por corrales con una densidad de 10 pollos por metro cuadrado. Los tratamientos fueron: T0: dieta base sin espirulina (Control), T1: dieta base con 0.25% de espirulina, T2: dieta base con 0.5% de espirulina, y T3: dieta base con 1% de espirulina.

La dieta base (Cuadro 1) fue formulada mediante el Software Dapp Nutrition®, según los requerimientos nutricionales de la etapa de crianza. La fuente de espirulina fue

Cuadro 1. Dieta base y composición nutricional de alimento utilizado en pollos de la Línea Cobb en fase de inicio, crecimiento y acabado

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

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

el producto comercial de Qingdao Huineng Biotech (China), presentado como un pulverizado verde oscuro con 7% de humedad, 60% de proteína cruda, 8% de ficocianina, 1% de clorofila, 1% de carotenoides y 8% de ceniza.

Los pollos fueron criados desde el nacimiento hasta el día 42 de edad sobre una cama de viruta de madera. El manejo ambiental se realizó según las recomendaciones de la guía de manejo de la línea Cobb para la edad (Cobb, 2019). El alimento y agua fueron ofrecidos *ad libitum* en equipos semi automáticos modelo campana.

### Variables Evaluadas

#### *Parámetros productivos*

Al final de la etapa de acabado se evaluó la respuesta a los tratamientos en términos de ganancia de peso (GP): diferencia entre el peso inicial y el peso a los 42 días; consumo de alimento (CA): diferencia entre el alimento ofrecido y el alimento residual; índice de conversión alimenticia (ICA): cantidad de alimento consumido para producir una unidad de ganancia de peso (CA/GP); índice europeo de eficiencia productiva (IEPE): (viabilidad x ganancia diaria de peso x 100) / edad (días) x ICA (González *et al.*, 2013), donde la viabilidad es el porcentaje de aves con vida al final de los 42 días. El IEPE permite evaluar el rendimiento integral de una parvada de pollos de engorde (Tolentino *et al.*, 2008) y está influenciado por valores bajos de mortalidad e índice de conversión de las aves en un lote (Manfredi, 2014). Para determinar los pesos de las aves y del alimento se utilizó una balanza digital con una capacidad de 10kg y una precisión de 0.1g.

#### *Morfometría intestinal*

Los cambios en morfometría intestinal como respuesta a los tratamientos fueron medidos a través de las dimensiones de las vellosidades intestinales. Al final de los 42 días de crianza se seleccionaron al azar seis aves por tratamiento y se sacrificaron en la sala

de necropsias del LPAYEM posterior a un ayuno de 8 h. Se extrajeron segmentos de intestino de 1 cm de largo, tomando como referencia la mitad de cada una de tres porciones: duodeno, desde la molleja hasta los ductos biliares y pancreáticos, yeyuno, desde los ductos biliares y pancreáticos hasta el divertículo de Meckel, e íleon, desde el divertículo de Meckel hasta la unión ileocecal. Los segmentos fueron fijados por 24 h en formalina tamponada neutral al 10% (Wu *et al.*, 2016), colocados en frascos rotulados y enviados al laboratorio privado Lab. Crisistotecnología (Lima, Perú), encargados de realizar los cortes histológicos y tinción de los núcleos y citoplasma celular (Santos, 2017) con Hematoxilina-Eosina (HE), siguiendo el protocolo de técnicas histológicas para procesamiento de tejidos (Megías *et al.*, 2017).

Asimismo, se midió la longitud (LV) y ancho (AV) de las vellosidades intestinales, profundidad de las criptas de Lieberkühn (PC) y la relación LV/PC en los cortes transversales de cada segmento intestinal mediante (Canto, 2019). Se seleccionaron de 8 a 10 campos por lámina y se observaron con un microscopio (Leica® DM1000, cámara ICC50W) a 40X. La LV se midió ( $\mu\text{m}$ ) desde el ápice de la vellosidad hasta la entrada de la cripta, el AV se midió ( $\mu\text{m}$ ) considerando una línea perpendicular a la sección media de la vellosidad y la PC se midió ( $\mu\text{m}$ ) desde la entrada de la cripta hasta la zona basal de la misma (Vallejos *et al.*, 2015) (Figura 1).

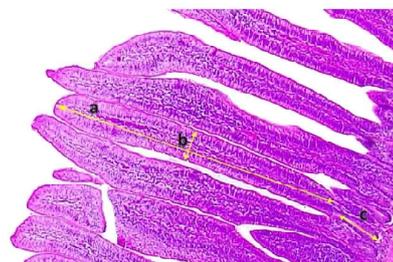


Figura 1. Medidas morfométricas ( $\mu\text{m}$ ) de las vellosidades intestinales de pollo Cobb 500 (42 días de edad) con tinción H-E a 40x. a) longitud de vellosidad, b) ancho de vellosidad, c) profundidad de cripta

## Análisis Estadístico

El efecto de los niveles crecientes de espirulina fue evaluado mediante contrastes ortogonales polinómicos del tipo lineal y cuadrático (Carcelén *et al.*, 2020). La estimación del nivel óptimo de inclusión de espirulina en la dieta se llevó a cabo mediante maximización de las ecuaciones cuadráticas de regresión (García, 2000). Se empleó el paquete estadístico R v. 4.02 (R Core Team, 2021), con las bibliotecas *lm* y *ggplot2*. Para todas las pruebas estadísticas el nivel de significación fue 0.05.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Parámetros Productivos

#### Ganancia de peso

Los componentes lineal y cuadrático de la respuesta a la inclusión de hasta 1.0% de espirulina fueron significativos ( $p < 0.001$  y  $p < 0.019$ , respectivamente) (Cuadro 2, Figura 2). La dosis estimada de espirulina para un máximo de GP fue 0.68% (IC<sub>0.95</sub>: 0.57-0.99) la cual produjo 3331g (IC<sub>0.95</sub>: 3194-3467).

El efecto de la espirulina sobre la ganancia de peso es explicable. Osman *et al.* (2019) indicaron que la ficocianina de la espirulina aunada a presencia de aminoácidos con actividad antioxidante puede ser crucial para mejorar el estado de salud. En este sentido, Park *et al.* (2018b) observaron que la alta digestibilidad de la espirulina permite la absorción de nutrientes y por tanto en el mejor crecimiento del pollo.

Resultados análogos a los del presente estudio fueron obtenidos por Jamil *et al.* (2015) quienes encontraron un incremento significativo del peso corporal como respuesta a la inclusión de espirulina en la dieta de pollos Cobb a los 28 días de edad. Asimismo, en estudios con dosis más bajas, como los de

Shinde *et al.* (2018) y Fathi *et al.* (2018), se evidenció un incremento del peso vivo como respuesta a la inclusión de 0.06 a 0.08% de espirulina en la dieta de pollos a los 42 días, y con 0.05 a 0.09% a los 38 días, respectivamente. Por otro lado, Pango (2021) y Zahir *et al.* (2019) al evaluar pollos Ross (21 días de edad) y Cobb (28 días de edad), respectivamente, no encontraron diferencias estadísticas ( $p > 0.05$ ) al utilizar 0.15, 0.50, 1.0 o 1.5% de espirulina en la dieta en términos de ganancia de peso. Del mismo modo, Bonos *et al.* (2016), al utilizar 0.5 y 1.0% de espirulina en dietas de pollos hasta los 42 días de edad no evidenciaron diferencias ( $p > 0.05$ ) con el grupo control.

#### Consumo de alimento

La respuesta en CA a los niveles crecientes de espirulina fue significativa, aunque solo se evidenció un componente cuadrático ( $p < 0.004$ ) (Cuadro 2, Figura 2), lo que sugiere que los niveles de espirulina más altos tendieron a disminuir el CA. La dosis estimada de espirulina para un máximo de CA fue 0.47% (IC<sub>0.95</sub>: 0.29-0.48), la cual produjo 5353 g (IC<sub>0.95</sub>: 5070-5636). Khan *et al.* (2020) observaron que el consumo de alimento aumentó con el mayor nivel de inclusión de espirulina (2 g espirulina/kg alimento), sin embargo, Ross y Dominy (1990) encontraron que la inclusión de espirulina por encima del 10% en dieta disminuyó el consumo de alimento y retrasó el crecimiento.

El mecanismo por el cual el incremento en espirulina reduce el consumo no está claro; sin embargo, la presencia de fenilalanina dentro de la composición de aminoácidos presentes en la espirulina estaría relacionada con el retraso del vaciado del buche, la cual produciría la disminución en el consumo de alimento (Furuse *et al.*, 1991). La fenilalanina es un liberador de la CCK (colecistoquinina), hormona que participa en los mecanismos de la ingesta de alimento provocando un efecto de saciedad (Ballinger y Clark, 1994).

Cuadro 2. Rendimiento productivo de pollos Cobb a los 42 días de edad, alimentados con una dieta base (control) y tres niveles de espirulina (*Arthrospira platensis*)

Parámetro	Espirulina (% de inclusión)				Contraste	
	0	0.25	0.50	1.0	Lineal	Cuadrático
Ganancia de peso – GP (g)	3,154	3,281	3,304	3,275	0.001**	0.019*
Consumo de alimento – CA (g)	5,174	5,356	5,323	5,148	0.664	0.004*
Índice de conversión alimenticia – ICA	1.64	1.63	1.61	1.56	0.007*	0.286
Índice de eficiencia productiva europea – IEPE)	434.7	464.2	473.3	493.8	0.014*	0.776

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

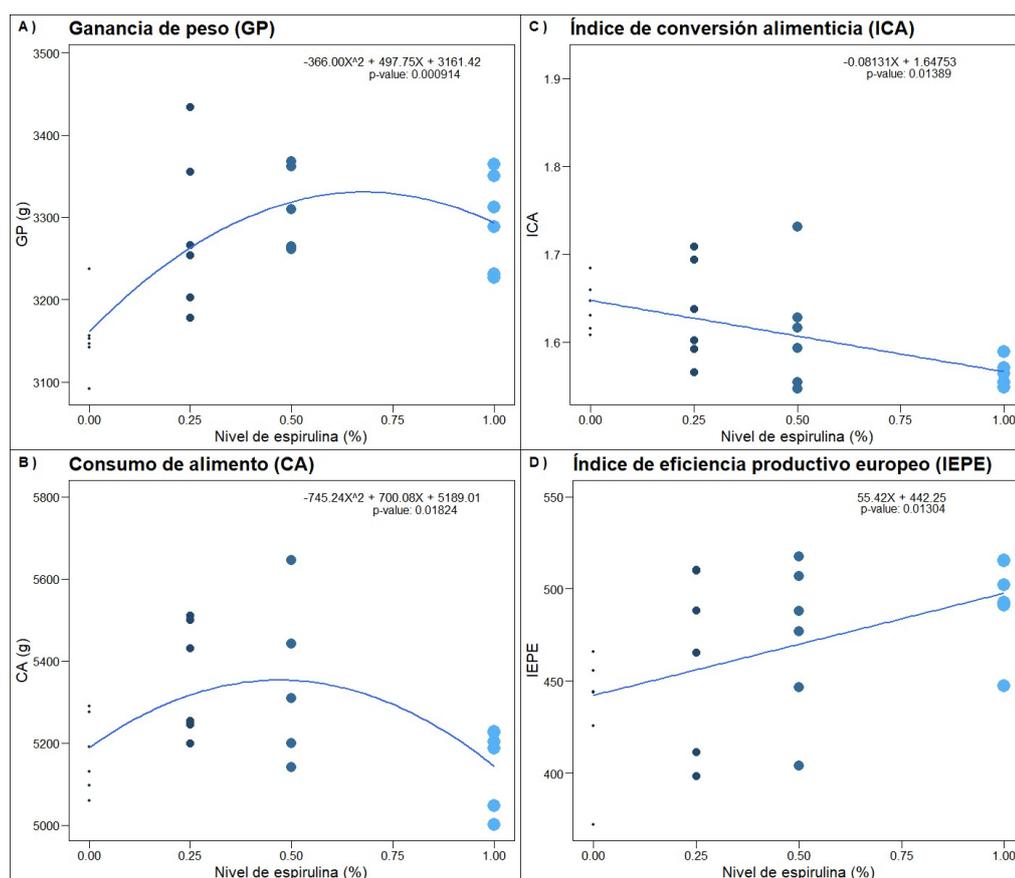


Figura 2. Ajuste al modelo cuadrático de la ganancia de peso (A) y el consumo de alimento (B), y ajuste al modelo lineal de la conversión alimenticia (C) e índice de eficiencia productiva europeo (D) en pollos Cobb 500 en respuesta a niveles crecientes de espirulina (*Arthrospira platensis*)

Cuadro 3. Medidas morfométricas ( $\mu\text{m}$ ) de los segmentos del intestino delgado (duodeno, yeyuno e íleon) en pollos Cobb 500 (42 días de edad) alimentados con cuatro niveles de espirulina (*Arthrospira platensis*)

Medida	Espirulina (% de inclusión)				Contraste	
	0	0.25	0.5	1.0	Lineal	Cuadrático
					p-valor	
<b>Duodeno</b>						
Longitud de vellosidad	1502.5	1337.5	1588.2	1583.9	0.132	0.267
Ancho de vellosidad	106.4	101.9	106.2	106.1	0.909	0.741
Profundidad de cripta	150.1	130.9	148.3	140.6	0.753	0.469
Relación longitud de vellosidad / profundidad de cripta	10.0	10.3	10.8	11.5	0.071	0.704
<b>Yeyuno</b>						
Longitud de vellosidad	1318.5	1267.9	1318.3	1319.7	0.731	0.460
Ancho de vellosidad	103.5	112.2	107.1	109.2	0.567	0.480
Profundidad de cripta	151.9	142.9	141.8	123.4	0.002*	0.413
Relación longitud de vellosidad / profundidad de cripta	8.7	8.9	9.4	10.8	<0.0001**	0.116
<b>Íleon</b>						
Longitud de vellosidad	995.0	1016.6	1062.7	1089.1	0.075	0.951
Ancho de vellosidad	112.0	102.8	111.2	104.6	0.664	0.854
Profundidad de cripta	125.2	120.0	126.5	114.7	0.127	0.357
Relación longitud de vellosidad / profundidad de cripta	7.9	8.5	8.5	9.5	0.003*	0.421

\* Respuesta significativa a 0.05; \*\* Respuesta significativa a 0.01

Otras experiencias con espirulina muestran un incremento significativo en el CA con la inclusión de 0.04, 0.06 y 0.08% en la dieta en pollos Vencobb 400Y criados sobre cama de cascarilla de arroz hasta los 42 días de edad (Shinde *et al.*, 2018). Sin embargo, Pango (2021), Zahir *et al.* (2019) y Fathi *et al.* (2018) no encontraron diferencias en el CA con respecto al control al incluir niveles de 0.15, 1.0 y 0.09% de espirulina en la dieta de pollos de engorde hasta 21, 28 y 38 días, respectivamente. En tanto, Hernández (2020) reportó un menor CA al incluir 0.5% de espirulina en la dieta de pollos Ross 308 criados hasta los 42 días a 36°C en un clima seco sobre cama de viruta. La diferencia de los resultados obtenidos en el CA en la presente investigación en comparación con otros es-

tudios puede estar relacionada con el medio ambiente en donde fueron criados los pollos, así como el manejo y la calidad de la espirulina utilizada (Shinde *et al.*, 2018).

#### Índice de conversión alimenticia

Únicamente el componente lineal de respuesta en ICA a los niveles crecientes de espirulina fue significativo ( $p < 0.007$ ) (Cuadro 2, Figura 2). La ausencia de una respuesta cuadrática no permite la estimación de una dosis óptima para esta variable de respuesta o sugiere que esta es mayor que la dosis máxima empleada. Una respuesta favorable en términos de ICA a espirulina fue también encontrada por Shanmugapriya *et al.* (2015a), quienes reportaron diferencias entre las do-

sis de 0.5 y 1% de espirulina en la dieta en pollos de la línea Ross 308 a los 36 días de edad. Asimismo, se reportaron resultados favorables con niveles de 0.2, 0.4 y 0.8% (Jamil *et al.*, 2015), con niveles de 0.5, 1.0 y 1.5% en pollos de 28 días (Zahir *et al.*, 2019) y con 0.05 y 0.07% en pollos Vencobb 400Y (Shinde *et al.*, 2018), todas estas con cama de cascarilla de arroz. Adicionalmente, Sugiharto *et al.* (2018) indicaron que la adición de 1% de espirulina produjo una disminución del ICA en pollos de engorde Lohmann (MB-202) de 21 días. Por otro lado, Bonos *et al.* (2016) no encontraron efectos significativos con la adición de espirulina en dosis de 0.5 y 1.0% en pollos de engorde en crianza mixta hasta los 42 días. Estas diferencias podrían ser atribuidas a la composición del alimento, condiciones de alojamiento y a los sistemas de producción (Zahir *et al.*, 2019).

#### *Índice de eficiencia productivo europeo (IEPE)*

Los niveles crecientes de espirulina produjeron una respuesta lineal significativa en IEPE, aunque las diferencias entre los niveles fueron mínimas (Cuadro 2, Figura 2). Debido a que la crianza se realizó en condiciones experimentales no se evidenciaron diferencias sustantivas en mortalidad entre los tratamientos evaluados, pero pudo ser influenciada por los valores del ICA. Similares resultados para este parámetro han sido obtenidos por Park *et al.* (2018b) quienes evidenciaron una tendencia lineal en IEPE en dosis de hasta 1% de espirulina en la dieta de pollos Ross a los 35 días de edad criados en baterías, mientras que Hajati y Zaghari (2019) reportaron un mejor IEPE, aunque no significativo con dosis de 0.5% en codornices de 35 días. Por otro lado, Park *et al.* (2018b) indican que la presencia de nutrientes tales como aminoácidos, vitaminas, minerales y otros compuestos biológicos presentes en la espirulina pueden estar contribuir en metabolismo y por tanto tener efecto sobre el rendimiento productivo.

#### **Morfometría Intestinal**

Los resultados del análisis estadístico de las respuestas en morfometría intestinal a los niveles crecientes de espirulina se presentan en el Cuadro 3. No se tuvo respuestas lineales ni cuadráticas significativas en LV a nivel de duodeno, yeyuno e íleon. El AV tampoco presentó tendencia significativa en los tres segmentos intestinales en estudio. Por otro lado, solo se obtuvieron respuestas lineal significativas en la PC y LV/PC en yeyuno y en LV/PC en íleon por efecto de los niveles crecientes de espirulina en la dieta.

Los resultados del efecto de espirulina sobre la morfometría intestinal son variables. Pango (2021), al evaluar la inclusión de espirulina a 0.15% en dieta en pollos Ross a los 21 días, no 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 cripta en yeyuno, mientras que Shanmugapriya *et al.* (2015b) reportaron un incremento en LV del yeyuno en comparación con el control con dosis de 0.5, 1 y 1.5% en pollos Ross de 36 días y Khan *et al.* (2020) observaron un incremento de la LV con dosis de 0.2% en la dieta. Asimismo, Ansari *et al.* (2018) reportaron valores más altos para LV/PC de duodeno y yeyuno, pero no observaron efecto a nivel del íleon con respecto al control con la inclusión de la dosis de 1.5 y 2% de espirulina en la dieta de pollos Ross 308 a los 42 días. Asmaz y Seyidoglu (2022) observaron un incremento de LV/PC en duodeno de ratas Wistar con la inclusión de espirulina en dosis de 1000 mg/kg, adicionalmente evidenciaron que el índice de proliferación en las criptas duodenales de Liberkühn fue más alto, sugiriendo que el contenido de proteínas y polisacáridos de espirulina pueden apoyar el crecimiento de las células epiteliales y, por lo tanto, de la mucosa intestinal.

Se ha demostrado que hay una correlación positiva entre la altura de la vellosidad y la absorción de nutrientes, además que la PC es un indicador de la salud del intestino, donde criptas más profundas son un indicativo de mayor requerimiento por el alto recambio celular al enfrentar la presencia de patógenos, toxinas (Tfaile *et al.*, 2020; Salim *et al.*, 2013) o radicales libres (Zou *et al.*, 2016). Por otro lado, el uso de aditivos que disminuyan el ancho de vellosidad intestinal sería benéfico para la salud del ave (Jiménez, 2022), al aumentar la cantidad de vellosidades para una mejor respuesta fisiológica (Rodríguez y Alsina, 2010). Además, valores mayores en LV/PC también indican mejor capacidad de digestión y absorción en el intestino delgado (Rubio *et al.*, 2010; Vallejos *et al.*, 2015), lo cual permite un mejor desempeño productivo (Tfaile *et al.*, 2020). Por otro lado, el uso de espirulina ha demostrado efecto antioxidante asociado al efecto antiinflamatorio a nivel intestinal en ratas inducidas a colitis experimental (Abdel-Daim *et al.*, 2015).

## CONCLUSIONES

- La inclusión de diferentes niveles de espirulina en la dieta de pollos Cobb 500 a los 42 días de edad mostró un comportamiento lineal significativo para variables índice de conversión alimenticia (ICA) e índice de eficiencia productiva europeo (IEPE), profundidad de cripta (PC) y la relación longitud de vellosidad / profundidad de cripta (LV/PC) en yeyuno y en íleon. En tanto, un comportamiento cuadrático significativo para variables ganancia de peso (GP) y conversión alimenticia (CA).
- El nivel óptimo de espirulina en la dieta para maximizar la ganancia de peso en pollos de engorde fue estimado en 0.68% de la dieta, dando un valor predictivo de 3330 g.

## LITERATURA CITADA

1. **Abdel-Daim MM, Farouk SM, Madkour FF, Azab SS. 2015.** Anti-inflammatory and immunomodulatory effects of *Spirulina platensis* in comparison to *Dunaliella salina* in acetic acid-induced rat experimental colitis. *Immunopharm Immunot* 37: 126-139. doi: 10.3109/08923973.2014.998368
2. **Abudabos A, Alyemni A, Dafalla Y, Khan R. 2018.** The effect of phytochemicals on growth traits, blood biochemical and intestinal histology in broiler chickens exposed to *Clostridium perfringens* challenge. *J Appl Poultry Res* 46: 691-695. doi: 10.1080/09712119-2017.1383258
3. **Ansari MS, Hajati H, Gholizadeh F, Soltani N, Alavi SM. 2018.** Effect of different levels of *Spirulina platensis* on growth performance, intestinal morphology, gut microflora, carcass characteristics and some blood parameters in broiler chickens. *Physiol Res* 2: 186-197.
4. **Ardoino S, Toso R, Alvarez H, Mariani E, Cachau P, Mancilla M, Oriani D. et al. 2017.** Antimicrobianos como promotores de crecimiento (AGP) en alimentos balanceados para aves: uso, resistencia bacteriana, nuevas alternativas y opciones de reemplazo. *Ciencia Veterinaria* 19: 50-66. doi: 10.19137/cienvet-20171914
5. **Asmaz ED, Seyidoglu N. 2022.** The prevention role of *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*) on intestinal health. *Food Sci Hum Wellness* 11: 1342-1346. doi: 10.1016/j.fshw.2022.04.027
6. **Ballinger AB, Clark ML. 1994.** L-phenylalanine releases cholecystokinin (CCK) and is associated with reduced food intake in humans: evidence for a physiological role of CCK in control of eating. *Metabolism* 43:735-738. doi: 10.1016/0026-0495(94)90123-6

7. **Bensehaila S, Doumandji A, Boutekrabort L, Manafikhi H, Peluso I, Bensehaila K, Kouache A, et al. 2015.** The nutritional quality of *Spirulina platensis* of Tamenrasset, Algeria. *Afr J Biotechnol* 14:1649-1654. doi: 110.5897/AJB-2015.14414
8. **Berrocal M. 2019.** Avicultura principal fuente de proteína animal de Perú: afectada por COVID-19. Avinews. Asociación Peruana de Avicultura. Perú. [Internet]. Disponible en: <https://avinews.com/avicultura-principal-fuente-proteina-animal-peru-afetada-covid-19/>. 22/07/2022
9. **Bonos E, Kasapidou E, Kargopoulos A, Karampampas A, Nikolakakis I. 2016.** Spirulina as a functional ingredient in broiler chicken diets. *SAfr J Anim Sci* 46: 94-102. doi: 10.4314/sajas.v46i1.12
10. **Canto F. 2019.** Actividad prebiótica del diente de león (*Taraxacum officinale*) en la alimentación de gallinas ponedoras (Hisex Brown) durante la etapa de producción. Tesis de Maestría. Chachapoyas, Perú: Univ. Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. 138 p.
11. **Carcelén F, San Martín F, Ara M, Bezada S, Asencios A, Jimenez R, Santillán et al. 2020.** Efecto de la inclusión de diferentes niveles de probiótico sobre los parámetros productivos y morfología intestinal en cuyes de engorde (*Cavia porcellus*). *Rev Inv Vet Perú* 31: e18735. doi: 10.15381/rivep.v31i3.-18735
12. **Castanon J. 2007.** History of the use of antibiotic as growth promoters in European poultry feeds. *Poultry Sci* 86: 2466-2471. doi: 10.3382/ps.2007-00249
13. **Cervantes H. 2007.** La prohibición europea sobre el uso de antibióticos. WATTpoultry.com [Internet]. Disponible en: <https://www.wattagnet.com/home/article/15482311/la-prohibicion-europea-sobre-el-uso-de-antibioticos>
14. **Cheong DS, Kasim A, Sazili AQ, Hishamuddin OM, Teoh JY. 2015.** Effect of supplementing spirulina on live performance, carcass composition and meat quality of Japanese quail. *Walailak J Sci Technol* 13: 77-84. doi: 10.14456/WJST.2016.8
15. **COBB. 2019.** Guía de manejo. Pollo de engorde. [Internet]. Disponible en: [https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/ec35b0able/Broiler-Guide-2019-ESP-WEB\\_2.22.2019.pdf](https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/ec35b0able/Broiler-Guide-2019-ESP-WEB_2.22.2019.pdf)
16. **Cota-Rubio E, Hurtado-Ayala L, Pérez-Morales E, Alcántara-Jurado L. 2014.** Resistencia a antibióticos de cepas bacterianas aisladas de animales destinados al consumo humano. *RelbCi* 1: 75-85.
17. **De Jesus-Raposo M, De Morais A, De Morais R. 2016.** Emergent sources of prebiotics: Seaweeds and microalgae. *Marine drugs* 14: 27. doi: 10.3390/md-14020027.
18. **Dhama K, Tiwari R, Khan R, Chakraborty S, Gopi M. 2014.** Growth promoters and novel feed additives improving poultry production and health, bioactive principles and beneficial applications: the trends and advances-a review. *Int J Pharmacol* 10: 129-159. doi: 10.3923/ijp.2014.129.159
19. **Dillon J, Phuc A, Dubacq J. 1995.** Nutritional value of the alga spirulina. *Plant Food Hum Nutr* 77: 32-46. doi: 10.1159/000424464
20. **El-Desoky G, Bashandy S, Alhazza I, Al-Othman, Z, Aboul-Soud, M. 2013.** Improvement of mercuric chloride-induced testis injuries and sperm quality deteriorations by *Spirulina platensis* in rats. *PLoS One* 8: e59177. doi: 10.1371/journal.pone.0059177
21. **El-Hady AA, Elghalid OA, Elnaggar AS, El-khalek AE. 2022.** Growth performance and physiological status evaluation of *Spirulina platensis* algae supplementation in broiler chicken diet. *Livest Sci* 263:105009. doi: 10.1016/j.livsci.2022.105009

22. **El-Sheekh M, Daboor S, Swelim M, Mohamed S. 2014.** Production and characterization of antimicrobial active substance from *Spirulina platensis*. Iran J Microbiol 6: 112-119.
23. **Fathi M, Namra MMM, Ragab MS, Aly MMM. 2018.** Effect of dietary supplementation of algae meal (*Spirulina platensis*) as growth promoter on performance of broiler chickens. Egypt Poult Sci 38: 375-389.
24. **Furbeyre H, Van Milgen J, Mener T, Gloaguen M, Labussière E. 2017.** Effects of dietary supplementation with freshwater microalgae on growth performance, nutrient digestibility and gut health in weaned piglets. Animal 11: 183-192. doi: 10.1017/S1751731116001543
25. **Furuse M, Chol YH, Yang SI, Kita K, Okumura J. 1991.** Enhanced release of cholecystokinin in chickens fed diets high in phenylalanine or tyrosine. Comp Biochem Physiol 99: 449-451. doi: 10.1016/0300-9629(91)90031-7
26. **García A. 2000.** Teoría económica de la producción ganadera. Servicios de Publicaciones de la Universidad de Córdoba Universidad de Córdoba – Argentina. [Internet]. Disponible en: [http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/14\\_13\\_06\\_Teoria\\_economica.pdf](http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/14_13_06_Teoria_economica.pdf)
27. **González S, Icochea E, Reyna P, Guzmán J, Cazorla F, Lúcar J, Carcelén F, San Martín V. 2013.** Efecto de la suplementación de ácidos orgánicos sobre los parámetros productivos en pollos de engorde. Rev Inv Vet Perú 24: 32-37.
28. **Hajati H, Zaghari M. 2019.** Effects of *Spirulina platensis* on growth performance, carcass characteristics, egg traits and immunity response of Japanese quails. Iran J Appl Anim Sci 9: 347-357.
29. **Hernandez J. 2020.** Evaluación de la inclusión de alga espirulina *Arthrospira platensis* en dietas de pollos. Tesis de Grado. Coahila, México: Univ. Autónoma Agraria Antonio Narro. 93 p.
30. **Holman BW, Kashani A, Malau-Aduli AE. 2012.** Growth and body conformation responses of genetically divergent Australian sheep to *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) supplementation. Am J Exp Agric 2: 160-173. doi: 10.9734/AJEA/2012/992
31. **Industria Avícola. 2020.** Consumo per cápita de productos avícolas en países seleccionados 2019. [Internet]. Disponible en: <https://www.industriaavicola-digital.com/industriaavicola/april2020/MobilePagedReplica.action?pm=2&folio=24>
32. **Jamil A, Akanda M, Rahman M, Hossain M, Islam MS. 2015.** Prebiotic competence of spirulina on the production performance of broiler chickens. J Adv Vet Anim Res 2: 304-309. doi: 10.5455/javar.2015.b94
33. **Jimenez HL. 2022.** Integridad intestinal y performance de pollos alimentados con dietas conteniendo alcaloides de plantas de la familia Papaveraceae y zinc bacitracina. Tesis de Ingeniero Zootecnista. Lima, Perú: Univ. Nacional Agraria La Molina. 58 p.
34. **Khan S, Mobashar M, Mahsood FK, Javaid S, Abdel-Wareth AA, Ammanullah H, Mahmood A. 2020.** Spirulina inclusion levels in a broiler ration: evaluation of growth performance, gut integrity, and immunity. Trop Anim Health Pro 52: 3233-3240. doi: 10.1007/s11250-020-02349-9
35. **Kuhad A, Tirkey N, Pilkhwal S, Chopra K. 2006.** Renoprotective effect of *Spirulina fusiformis* on cisplatin-induced oxidative stress and renal dysfunction in rats. Renal failure 28: 247-254. doi: 10.1080/08860220600580399.
36. **Madeira M, Cardoso C, Lopes P, Coelho D, Afonso C. 2017.** Microalgae as feed ingredients for livestock production and meat quality: a review. Livest Sci 205: 111-121. doi: 10.1016/j.livsci.2017.09.020
37. **Manfredi D. 2014.** Desempenho de frangos de corte suplementado com extrato de algas Tesis de grado. Paraná,

- Brasil: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 32 p.
38. **Megías M, Molist P, Pombal MA. 2019.** Atlas de histología vegetal y animal. Técnicas histológicas. [Internet]. Disponible en: <http://mmegias.webs.uvigo.es/6-tecnicas/5-general.php>
  39. **[MIDAGRI] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. 2022.** Producción y comercialización de productos avícolas. 2022. Boletín estadístico mensual. Perú. [Internet]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2978333/Bolet%C3%ADn%20sobre%20producci%C3%B3n%20y%20comercializaci%C3%B3n%20de%20productos%20av%C3%ADcolas%20ENERO%202022.pdf>. 22/07/2022
  40. **[MINAGRI] Ministerio de Agricultura y Riego. 2015.** Principales líneas comerciales del sector avícola. [Internet]. Disponible en: <http://mmegias.webs.uvigo.es/6-tecnicas/5-general.php>
  41. **Mirzaie S, Zirak-Khattab F, Hosseini S, Donyaie-Darian H. 2018.** Effects of dietary spirulina on antioxidant status, lipid profile, immune response and performance characteristics of broiler chickens reared under high ambient temperature. *Asian Austral J Anim* 31: 556. doi: 10.5713/ajas.17.0483
  42. **Molina D. 2022.** Influencia del uso de aditivos fitogénicos sobre la salud intestinal y productividad de pollos de engorde. Tesis de Especialización. Lima, Perú: Univ. Nacional Mayor de San Marcos. 90 p.
  43. **Momo C, Adam M, Herve T, Narcisse V, Ferdinand N. 2021.** Effects of Spiruline (*Spirulina platensis*) supplementation on oxidative stress markers, biochemical characteristics, and hematological parameters in rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) does. *Asian J Agricult Rural Develop* 11: 163-170. doi: 10.18488/journal.ajard.2021.112.163.170
  44. **Osman A, Abd-Elaziz S, Salama A, Eita AA, Sitohy M. 2019.** Health protective actions of phycocyanin obtained from an Egyptian isolate of *Spirulina platensis* on albino rats. *Eurasian J Biosci* 13: 105-112.
  45. **Pango MA. 2021.** Efecto de la espirulina (*Arthrospira platensis*) en parámetros productivos, morfometría intestinal y de tibia en pollos de engorde. Tesis de Grado. Lima, Perú: Univ. Nacional Agraria La Molina. 65 p.
  46. **Park W, Kim H, Li M, Lim D, Kim J, Kwak S, Kang C, et al. 2018a.** Two classes of pigments, carotenoids and c-phycocyanin, in spirulina powder and their antioxidant activities. *Molecules* 23: 2065. doi: 10.3390/molecules23082065
  47. **Park J, Lee S, Kim I. 2018b.** Effect of dietary *Spirulina (Arthrospira) platensis* on the growth performance, antioxidant enzyme activity, nutrient digestibility, cecal microflora, excreta noxious gas emission, and breast meat quality of broiler chickens. *Poultry Sci* 97: 2451-2459. doi: 10.3390/molecules23082065
  48. **Pulz O, Gross W. 2004.** Valuable products from biotechnology of microalgae. *Appl Microbiol Biot* 65: 635-648. doi: 10.1007/s00253-004-1647-x
  49. **R Core Team. 2021.** R: A Language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.
  50. **Rodriguez JE, Alsina S. 2010.** Cambios morfológicos en vellosidades intestinales, en pollos de engorde alimentados a partir de los 21 días con una dieta que incluyó el 10% de microorganismos eficientes. *CITECSA* 1: 40-46.
  51. **Ross E, Dominy W. 1990.** The nutritional value of dehydrated, blue-green algae (*Spirulina plantensis*) for poultry. *Poultry Sci* 69: 794-800. doi: 10.3382/ps.0690794

52. **Rubio LA, Ruiz R, Peinado MJ, Echavarrri A. 2010.** Morphology and enzymatic of the small intestinal mucosa of Iberian pigs as compared with a lean pig strain. *J Anim Sci* 88: 3590-3597. doi: 10.2527/jas.2010-3040
53. **Salmeán G, Castillo L, Chamorro-Cevallos G. 2015.** Nutritional and toxicological aspects of *Spirulina* (*Arthrospira*). *Nutr Hosp* 32: 34-40. doi: 10.3305/nh.2015.32.1.9001
54. **Salim H, Kang H, Akter N, Kim D, Kim J, Kim M, Na JC, et al. 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 Sci* 92: 2084-2090. doi: 10.3382/ps.2012-02947
55. **Santos VS. 2017.** Tinción hematoxilina-eosina. Tesis de Maestría. Madrid, España: Univ. Nacional de Educación a Distancia. 51 p.
56. **Selim S, Hussein E, Abou-Elkhair R. 2018.** Effect of *Spirulina platensis* as a feed additive on laying performance, egg quality and hepatoprotective activity of laying hens. *Eur Poultry Sci* 82: 1-13. doi: 10.1399/eps.2018.227
57. **Seyidoglu N, Inan S, Aydin C. 2017.** A Prominent superfood: *Spirulina platensis*. In: Superfood and functional food the development of superfoods and their roles as medicine. Shiomi N, Waisundara VY (eds). United Kingdom: IntechOpen Limited. p 1-27.
58. **Shanmugapriya B, Babu S, Hariharan T, Sivaneswaran S, Anusha M, Raja P. 2015a.** Synergistic effect of *Spirulina platensis* on performance and gut microbial load of broiler chicks. *Indo-Asian J Multidisc Res* 1: 149-155.
59. **Shanmugapriya B, Babu SS, Hariharan T, Sivaneswaran S, Anusha MB. 2015b.** Dietary administration of *Spirulina platensis* as probiotics on growth performance and histopathology in broiler chicks. *Int J Recent Sci Res* 6: 2650-2653.
60. **Shinde S, Patil R, Padghan P. 2018.** Effect of spirulina supplementation on growth performance of broilers. *J Pharmacogn Phytochem* 7: 3265-3267.
61. **Dimkus A, Dimkienė A, Èrnauskienė J, Kvietkutė N, Èrnauskas A, Paleckaitis M, Kerzienė S. 2013.** The effect of blue algae *Spirulina platensis* on pig growth performance and carcass and meat quality. *Vet Zootec* 61: 70-74.
62. **Sinovec Z, Markovic R. 2005.** Using prebiotic in poultry nutrition. *Biotechnol Anim Husb* 21: 235-239.
63. **Sugiharto S, Yudiarti T, Isroli, I, Widiastuti E. 2018.** Effect of feeding duration of *Spirulina platensis* on growth performance, haematological parameters, intestinal microbial population and carcass traits of broiler chicks. *S Afr J Anim Sci* 48: 98-107. doi: 10.4314/sajas.v48i1.12
64. **Tfaile SM, Moraes JE, Budiño FE, Soares DF, Sitanaka NY, Duarte KM, Kakimoto SK, et al. 2020.** Alternatives to the use of antibiotics for laying hens in growing phase. *S Afr J Anim Sci* 50: 553-563. doi: 10.4314/sajas.v50i4.7
65. **Tolentino C, Icochea E, Reyna P, Valdivia R. 2008.** Influencia de la temperatura y humedad ambiental del verano e invierno sobre parámetros productivos de pollos de carne criados en la ciudad de Lima. *Rev Inv Vet Perú* 19: 9-14.
66. **Toyomizu M, Sato K, Taroda H, Kato T, Akiba, Y. 2001.** Effects of dietary *Spirulina* on meat colour in muscle of broiler chickens. *British Poultry Sci* 42: 197-202. doi: 10.1080/00071660120048447
67. **Vallejos D, Carcelén F, Jiménez R, Perales R, Santillán G, Ara M, Quevedo W, et al. 2015.** Efecto de la suplementación de butirato de sodio en la dieta de cuyes (*Cavia porcellus*) de engorde sobre el desarrollo de las vellosidades intestinales y criptas de lieberkühn. *Rev Inv Vet Perú* 26: 395-403. doi: 10.15381/rivep.v26i3.11186

68. **Wu Y, Zhou Y, Lu C, Ahmad H, Zhang H, He J, Zhang L, Wang T. 2016.** Influence of butyrate loaded clinoptilolite dietary supplementation on growth performance, development of intestine and antioxidant capacity in broiler chickens. PloS One 11: e0154410. doi: 10.1371/journal.pone.0154410
69. **Zahir U, Anwarulhaque B, Maksuda B, Mahfui 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. doi: 10.3923/ijps.2019.576.584
70. **Zhang, F, Man YB, Mo WY, Wong MH. 2020.** Application of spirulina in aquaculture: a review on wastewater treatment and fish growth. Rev Aquac 12: 582-599. doi: 10.1111/raq.12341
71. **Zou Y, Xiang Q, Wang J, Peng J, Wei H. 2016.** Oregano essential oil improves intestinal morphology and expression of tight junction proteins associated with modulation of selected intestinal bacteria and immune status in a pig model. BioMed Res Int 2016: 5436738. doi: 10.1155/2016/5436738