

Respuesta productiva, pH, morfometría ósea e intestinal y sus relaciones en broilers alimentados con acidificantes protegidos y no protegidos y antibióticos

Productive performance, pH, bone and intestinal morphometry and their relationships in broilers fed with protected and unprotected acidifiers and antibiotics

Rubén Céspedes Gaspar¹, Otto Zea-Mendoza^{1*}, Carlos Vélchez-Perales¹

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la suplementación con ácidos orgánicos protegidos (AOP) y no protegidos (AONP) sobre el rendimiento del crecimiento, pH del tracto gastrointestinal (TGI), morfometría ósea e intestinal en dietas con antibiótico y sus relaciones. Se trabajó con 200 pollos de engorde Cobb 500 machos de 1 día de edad. Las aves se distribuyeron aleatoriamente en 5 tratamientos con 4 repeticiones y 10 aves por réplica. Las dietas fueron: T1: dieta control; T2: T1 + zinc bacitracina (50 ppm); T3: T2 + acidificante no protegido (500 g/t); T4: T2 + acidificante protegido (500 g/t); T5: T2 + acidificante protegido (1000 g/t). El día 42 se sacrificaron dos aves por unidad. Los datos se analizaron bajo un diseño completamente al azar, la comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey y la prueba de correlación de Pearson para establecer relaciones entre variables. Los resultados indicaron que tanto AOP como AONP no influyeron en la respuesta productiva. El pH del ciego fue mayor en T4 sobre T2. En morfometría ósea T5 presentó mejor diámetro interno que T2 y ancho del hueso que T2 y T3. La morfometría intestinal fue significativa en yeyuno en la relación altura/

¹ Departamento Académico de Nutrición, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

* E-mail: ottozea@lamolina.edu.pe

Recibido: 3 de abril de 2023

Aceptado para publicación: 18 de noviembre de 2023

Publicado: 18 de diciembre 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

profundidad de la cripta favorable a T3, T4 y T5 sobre T2 ($p < 0.05$). Se encontraron relaciones negativas entre el pH del buche con el peso vivo, peso de pechuga, ancho de la tibia y relación altura/profundidad de la cripta (-0.37, -0.34, -0.36, -0.36 respectivamente; $p < 0.05$), así como entre el pH del ciego y el área de las vellosidades del ileon (-0.41) y el pH de la molleja y la altura de las vellosidades del ileon (-0.34). Se concluye que no se evidenció influencia en la adición de AOP y AONP sobre los parámetros productivos, pH del TGI, morfometría ósea e intestinal en pollos de carne alimentados con antibióticos. Además, se encontraron relaciones moderadas negativas en el pH del TGI anterior y posterior con parámetros de producción y morfometría intestinal, respectivamente.

Palabras clave: ácidos orgánicos protegidos, ácidos orgánicos no protegidos, antibiótico, pH, tracto gastrointestinal

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of supplementation with protected (POA) and non-protected organic acids (UOA) on growth performance, pH of the gastrointestinal tract (GIT), bone and intestinal morphometry in diets with antibiotics and their relationships. The study included 200 1-day-old Cobb 500 male broilers. The birds were randomly distributed in 5 treatments with 4 repetitions and 10 birds per replicate. The diets were: T1: control diet; T2: T1 + zinc bacitracin (50 ppm); T3: T2 + unprotected acidifier (500 g/t); T4: T2 + protected acidifier (500 g/t); T5: T2 + protected acidifier (1000 g/t). On day 42 two birds were slaughtered per unit. The data were analysed under a completely randomized design, the comparison of means with the Tukey test and the Pearson correlation test to establish relationships between variables. The results indicated that both POA and UOA did not influence the productive response. The pH of the cecum was higher in T4 over T2. In bone morphometry, T5 presented a better internal diameter than T2 and bone width than T2 and T3. Intestinal morphometry was significant in the jejunum in the crypt height/depth ratio favourable to T3, T4 and T5 over T2 ($p < 0.05$). Negative relationships were found between crop pH and live weight, breast weight, tibia width and crypt height/depth ratio (-0.37, -0.34, -0.36, -0.36 respectively; $p < 0.05$), as well as between the pH of the cecum and the area of the villi of the ileum (-0.41) and the pH of the gizzard and the height of the villi of the ileum (-0.34). It is concluded that no influence was evident in the addition of POA and UOA on the productive parameters, pH of the GIT, bone and intestinal morphometry in broiler chickens fed with antibiotics. Furthermore, moderate negative relationships were found in the pH of the anterior and posterior GIT with production parameters and intestinal morphometry, respectively.

Key words: protected organic acids, unprotected organic acids, antibiotic, gastrointestinal tract. pH

INTRODUCCIÓN

En la avicultura a nivel mundial existe un creciente interés por el uso de aditivos alternativos a los antibióticos promotores de crecimiento (APC), los cuales se siguen utili-

zando en la avicultura comercial en Perú, debido principalmente a que estos antibióticos evitan el surgimiento de enfermedades y mejoran la respuesta productiva. No obstante, la sinergia de los APC con otros aditivos en este contexto amerita ser estudiado, de tal forma que se viene estudiando el uso com-

binado de antibióticos con aditivos tales como probióticos, prebióticos o ácidos orgánicos (Jiménez, 2022). Se ha demostrado que el empleo en la dieta de ácidos orgánicos (AO) mejora la digestibilidad de los nutrientes al aumentar la población de la microflora beneficiosa (*Lactobacillus* spp), reduciendo el recuento de bacterias dañinas (*Clostridium perfringens*, *Escherichia coli* y *Salmonella* spp), además de mejorar la salud ósea (Polycarpo *et al.*, 2017).

Existe una variedad de AO en el mercado y su eficacia en el crecimiento de los pollos y la salud intestinal está influenciada por factores tales como la estructura, la composición, el recubrimiento y el nivel de inclusión de los AO, así como el estado de salud del pollo, la composición de la dieta y el medioambiente de la crianza (Pham *et al.*, 2021). Con relación al recubrimiento se dispone de ácidos orgánicos protegidos y no protegidos, cuyo efecto y lugar de acción genera controversia por lo que es importante llevar a cabo estudios al respecto (Khan *et al.*, 2022). De esta forma, algunos autores señalan que el tracto gastrointestinal anterior, que incluye la molleja y el buche, son los principales objetivos de estos aditivos (Hume *et al.*, 1993; Dittoe *et al.*, 2018), mientras que otros autores señalan al tracto gastrointestinal (TGI) posterior como su objetivo principal (Nourmohammadi *et al.*, 2011).

La determinación del pH en segmentos del TGI podría dar indicios de su uso estratégico. Ante esto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de los ácidos grasos volátiles protegidos y no protegidos sobre los parámetros productivos, la morfometría intestinal y ósea y el pH de los segmentos del TGI en dietas de pollos de carne que reciben APV en la dieta.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la Unidad Experimental Avícola de la Granja de Aves de la Universidad Nacional Agraria La

Molina (UNALM), en Lima, Perú, durante abril y mayo de 2019 con una duración de 42 días. Se utilizaron 200 pollos de engorde machos, de la línea Cobb 500 de un día de edad. Las aves se distribuyeron aleatoriamente en 5 tratamientos y 4 repeticiones con 10 aves por réplica. El suministro de agua y alimento fue *ad libitum* desde el día 1 de edad hasta el día 42. El alimento fue en forma de harina. Los parámetros productivos evaluados fueron: peso corporal, consumo de alimento, ganancia diaria de peso, conversión alimenticia y mortalidad.

Se registró semanalmente el peso vivo, consumo de alimento y conversión alimenticia. El peso vivo y el consumo de alimento se midieron utilizando una balanza digital de plataforma con precisión de 0.01 g. El consumo voluntario de alimento se determinó restando la cantidad de alimento ofrecido de la suma del residuo del alimento y su desperdicio. La conversión alimenticia se determinó dividiendo el consumo del alimento entre la ganancia de peso.

Los tratamientos fueron: T1: dieta control; T2: T1 + zinc bacitracina (50 ppm); T3: T2 + acidificante no protegido – AONP (500 g/t); T4: T2 + acidificante protegido – AOP (500 g/t); T5: T2 + acidificante protegido (1000 g/t). El acidificante protegido fue Butytec Plus de Tecnovit (T&V) y el antibiótico Zinc Bacitracina fue Baczin® (Montana). La composición y valor nutricional de las dietas se presenta en el Cuadro 1. Se siguieron las recomendaciones de la línea Cobb 500 (2008).

El último día de evaluación se sacrificaron dos aves por unidad. Se extrajeron las porciones de yeyuno e íleon del intestino delgado. La muestra del yeyuno fue de 2 cm de largo, tomada 8 cm antes del divertículo de Meckel. La muestra del íleon se tomó 5 cm después de dicho divertículo. Las muestras en formol al 10% fueron remitidas al Laboratorio de Histomorfometría Aviar de la UNALM. Las mediciones se realizaron siguiendo una adaptación del protocolo de eva-

Cuadro 1. Composición y valor nutricional de las dietas en pollos en las fases de inicio y crecimiento I

	Inicio					Crecimiento I				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
Composición										
Maíz, %	56.47	56.36	56.16	56.26	56.16	58.79	58.68	58.48	58.58	58.48
Torta de soya, %	36.58	36.60	36.63	36.61	36.63	34.26	34.28	34.30	34.29	34.30
Aceite vegetal, %	2.34	2.39	2.46	2.43	2.46	2.71	2.76	2.83	2.79	2.83
Núcleo 1 ² , %	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Núcleo 2, %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15
Antibiótico, %	0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.05	0.05	0.05	0.05
Premezcla de vitaminas + minerales**	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Ácido orgánico no protegido, %	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
Ácido orgánico protegido, %	0.00	0.00	0.00	0.05	0.10	0.00	0.00	0.00	0.05	0.10
Total, %	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Valor nutricional (calculado)										
Energía metabolizable, kcal kg ⁻¹	2975	2975	2975	2975	2975	3025	3025	3025	3025	3025
Proteína bruta, %	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
Calcio, %	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
Fósforo disponible, %	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
Lisina disponible, %	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
Metionina disponible, %	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
Met + Cis, disponible, %	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Treonina disponible, %	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
Triptófano disponible, %	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
Sodio, %	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

T1: dieta basal, T2: dieta basal + zinc bacitracina, T3: dieta basal + zinc bacitracina y acidificante no protegido (500 g/t), T4: dieta basal + zinc bacitracina y acidificante protegido (500 g/t), T5: dieta basal + zinc bacitracina y acidificante protegido (1000 g/t)

** Vitamina A, 12 000 000 UI; Vitamina D, 2 500 000 UI; Vitamina E, 30 000 UI; Vitamina B₂, 5 500 g; Vitamina B₆, 3 000; Vitamina B₁₂, 0.015 g; Vitamina K₃, 3 g; Vitamina B₉, 1g; Vitamina B₃, 30 g; Vitamina B₅, 11 g; Vitamina B₈, 0.15 g; Zinc, 45g; Hierro, 80 g; Manganeso, 65 g; Cobre, 8 g; Yodo, 1 g; Selenio, 0.15 g; excipientes 1 000 g

Núcleo 1: Carbonato de calcio 1%; fosfato dicálcico; 1.73%; DL metionina, 0.32; HCL Lisina, 0.18%; L-treonina, 0.09; cloruro de colina, 0.20%; bicarbonato de sodio, 0.30%; sal común, 0.27%; premezcla, 0.15, coccidiostato, 0.08; antioxidante, 0.08; secuestrante, 0.10

Núcleo 2: Carbonato de calcio 0.94%; fosfato dicálcico; 1.59%; DL metionina, 0.29; HCL Lisina, 0.13%; L-treonina, 0.02; cloruro de colina, 0.20%; bicarbonato de sodio, 0.30%; sal común, 0.27%; premezcla, 0.15, coccidiostato, 0.08; antioxidante, 0.08; secuestrante, 0.10

luación utilizado por Oliveira *et al.* (2000), que consistió en colocar tres cortes seriados en lugar de cuatro por segmento y en realizar 15 mediciones morfométricas como mínimo por lámina histológica (en lugar de 30) midiendo la altura, ancho, área de vellosidades, profundidad de cripta y relación altura: profundidad de cripta.

La altura de vellosidad fue la distancia tomada a partir de la región basal, que coincide con la porción superior de las criptas hasta el ápice de la vellosidad. El grosor de las vellosidades fue medido en el punto medio de cada vellosidad. La medida profundidad de cripta es la distancia tomada desde la región basal de cada vellosidad hasta la parte basal

Cuadro 2. Composición y valor nutricional de las dietas en pollos en las fases de crecimiento 2 y acabado

	Crecimiento 2					Acabado				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
Composición										
Maíz, %	59.26	59.14	58.95	59.05	58.95	59.34	59.28	59.08	59.18	59.08
Torta de soya, %	31.09	31.11	31.14	31.12	31.14	31.08	31.09	31.11	31.10	31.11
Aceite vegetal, %	5.46	5.51	5.57	5.54	5.57	5.43	5.45	5.52	5.49	5.52
Núcleo 3, %	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Núcleo 4, %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18
Premezcla de vitaminas + minerales **	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Antibiótico, %	0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ácido orgánico no protegido, %	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
Ácido orgánico protegido, %	0.00	0.00	0.00	0.05	0.10	0.00	0.00	0.00	0.05	0.10
Total, %	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Valor nutricional (calculado)										
Energía metabolizable, kcal kg ⁻¹	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100
Proteína bruta, %	18.26	18.26	18.26	18.26	18.26	18.27	18.27	18.27	18.27	18.27
Calcio, %	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
Fósforo disponible, %	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
Lisina disponible, %	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Metionina disponible, %	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Met + Cis, disponible, %	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.88	0.80
Treonina disponible, %	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
Triptófano disponible, %	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Sodio, %	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

T1: dieta basal, T2: dieta basal + zinc bacitracina, T3: dieta basal + zinc bacitracina y acidificante no protegido (500 g/t), T4: dieta basal + zinc bacitracina y acidificante protegido (500 g/t), T5: dieta basal + zinc bacitracina y acidificante protegido (1000 g/t)

** Vitamina A, 12 000 000 UI; Vitamina D, 2 500 000 UI; Vitamina E, 30 000 UI; Vitamina B₂, 5 500 g; Vitamina B₆, 3 000; Vitamina B₁₂, 0.015 g; Vitamina K₃, 3 g; Vitamina B₉, 1g; Vitamina B₃, 30 g; Vitamina B₅, 11 g; Vitamina B₈, 0.15 g; Zinc, 45g; Hierro, 80 g; Manganeso, 65 g; Cobre, 8 g; Yodo, 1 g; Selenio, 0.15 g; excipientes 1 000 g

Núcleo 3: Carbonato de calcio 0.95%; fosfato dicálcico; 1.43%; DL metionina, 0.30; HCL Lisina, 0.19%; L-treonina, 0.05; cloruro de colina, 0.20%; bicarbonato de sodio, 0.30%; sal común, 0.27%; premezcla, 0.15, coccidiostato, 0.08; antioxidante, 0.08; secuestrante, 0.10

Núcleo 4: Carbonato de calcio 0.95%; fosfato dicálcico; 1.43%; DL metionina, 0.39; HCL Lisina, 0.19%; L-treonina, 0.05; cloruro de colina, 0.25%; bicarbonato de sodio, 0.20%; sal común, 0.34%; premezcla, 0.20; antioxidante, 0.08; secuestrante, 0.10

superior de la musculatura lisa del intestino. La relación altura de vellosidad y profundidad de cripta resultó de la división de ambas magnitudes. El área de la vellosidad fue calculada usando el software Leica.

Al mismo tiempo, se extrajeron los tibiotarsos, que fueron colocados en agua hirviendo por 15 min. Luego se retiró manualmente el tejido y el cartílago presente y se registró el peso, densidad, volumen, largo y

ancho del tibiotarso. El peso de la tibia (mg) se midió en una balanza analítica (± 0.1 mg). Las densidades óseas de la tibia de las aves se determinaron mediante la volumetría del hueso (Quarantelli *et al.*, 2007), considerándose como densidad ósea a la masa de material orgánico e inorgánico en el hueso por unidad de volumen de este (Zhou *et al.*, 2011). Se calculó dividiendo el peso del hueso (mg) entre el volumen (cm³). Para la determinación del volumen de los huesos se

emplearon probetas graduadas con capacidad de 10 y 25 cm³ y con una aproximación de 0.2 y 0.5 cm³, respectivamente. El largo (mm), diámetro de diáfisis (mm) e índice de forma (mm) de las tibias fueron medidos empleando un vernier Uyustools profesional con una capacidad para 15 cm y con una aproximación de 0.05 mm.

Para determinar el pH del tracto gastrointestinal se tomó asépticamente 0.6 g de una muestra del contenido del buche, proventrículo, molleja, duodeno, yeyuno, íleon y ciego y se diluyó en 2.6 ml de agua destilada desionizada. El pH de la suspensión se midió dentro de los 45 minutos posteriores al sacrificio de las aves siguiendo las recomendaciones de Hinton *et al.* (1990).

Se calculó el tamaño muestral para una diferencia de medias en muestras independientes mediante al paquete estadístico R-Studio (RStudio Team, 2020) con un poder de la prueba de 80% y un nivel de significancia de 5%, resultando en al menos cuatro unidades experimentales (repeticiones) por tratamiento. Los datos obtenidos se analizaron mediante análisis de varianza con las pruebas de comparación múltiple post hoc de Duncan, utilizando el software R. Un valor de probabilidad de $p < 0.05$ fue considerado estadísticamente significativo. Se realizó un

análisis de correlación de Pearson para establecer las relaciones entre las variables estudiadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los efectos de AONP o AOP en el rendimiento del crecimiento de los pollos se muestran en el Cuadro 3. Estos efectos pueden verse influenciadas por el tipo y dosis de los ácidos orgánicos, la composición de las dietas, el medio ambiente, y el manejo de las aves (Zeng *et al.*, 2015). En el presente estudio el consumo de alimentos fue significativamente menor ($p < 0.05$) en T2 (dieta basal + zinc bacitracina) en comparación con T1, T4 y T5, no habiendo diferencias significativas para peso vivo ni en conversión alimenticia ($p > 0.05$).

La adición de antibióticos (T2) redujo el consumo de alimento, resultado que coincide con Polycarpo *et al.* (2017) quienes a través de un metaanálisis determinaron que los ácidos orgánicos se pueden utilizar para mejorar el rendimiento, pero que el rendimiento productivo puede ser menor si las aves se encuentran frente a un desafío microbiano. En algunos trabajos los tratamientos que usaban antibióticos han presentado efectos diferentes a los esperados donde el grupo control

Cuadro 3. Efecto de los ácidos orgánicos protegidos y no protegidos sobre el desarrollo productivo de los pollos de carne

Parámetros productivos	Tratamientos ¹					<i>p-value</i>
	T1	T2	T3	T4	T5	
Consumo de alimento (g/ave)	5151 ^a	4943 ^b	5068 ^{ab}	5109 ^a	5086 ^a	0.02
Peso vivo (g)	3320 ^a	3262 ^a	3312 ^a	3370 ^a	3390 ^a	0.45
Conversión alimenticia (g/g)	1.55 ^a	1.52 ^a	1.53 ^a	1.52 ^a	1.50 ^a	0.54

T1: dieta basal, T2: dieta basal + zinc bacitracina, T3: dieta basal + zinc bacitracina y acidificante no protegido (500 g/t), T4: dieta basal + zinc bacitracina y acidificante protegido (500 g/t), T5: dieta basal + zinc bacitracina y acidificante protegido (1000 g/t)

Los valores son el promedio y desviación estándar de 4 repeticiones (10 aves por repetición) por tratamiento

^{a,b,c} Superíndices diferentes dentro de las filas indican diferencia estadística ($p < 0.05$)

negativo sin antibióticos obtenía mejores resultados que el control positivo con antibióticos. Según Forbes y Park (1959), en un entorno microbiano «bajo», como ocurre en una cama fresca, los APC pueden afectar negativamente a las bacterias comensales necesarias para una digestión adecuada, lo que resulta en una disminución del crecimiento. Asimismo, Wise y Siragusa (2007) notaron que las poblaciones ileales de lactobacilos y enterobacterias eran más numerosas en las aves libres de antibióticos en comparación con las criadas con una dieta convencional.

Por otro lado, se ha demostrado la influencia de la edad del animal y del aditivo empleado sobre la microbiota del TGI (Gong *et al.*, 2008; Liao *et al.*, 2020; Jijón *et al.*, 2023). Al respecto, Gong *et al.* (2008) señalan que el tratamiento con bacitracina a razón de 50 mg kg⁻¹ no cambian la riqueza, pero alteran la composición de la microbiota, con un efecto más acentuado en los primeros 3 días de edad.

No hubo diferencias estadísticas en el pH de la digesta, excepto a nivel del ciego, donde el pH en T2 fue significativamente menor al T4, siendo igual a T1, T3 y T5 (Cuadro 4). En otro estudio, Engberg *et al.* (2000), alimentando aves con zinc bacitracina tuvieron un pH más alto en el ciego (9.26) que

con salinomicina, donde se obtuvo un bajo nivel de pH (8.47). Esta alcalinización también fue encontrada en otro trabajo realizado por Shimizu *et al.* (2021). en ratones de 25 a 30 semanas de edad a los que se les administró ampicilina. De acuerdo con estos autores, el pH intestinal incrementado se pudo deber a las aminas generadas de la proteína de la dieta por las bacterias que colonizan el ciego y el colon. Es interesante señalar que según estos resultados un pH alcalino en el ciego sería favorable en relación a la salud intestinal o parámetros productivos a diferencia de otros segmentos donde el pH debería ser más ácido. Por otro lado, se encontró una relación regular y positiva entre el pH del ciego y el peso vivo del animal ($r=0.31$), debido a la tendencia que mostraron T4 y T5 de presentar la mejor conversión y al mismo tiempo el pH del ciego más alcalino.

En un estudio realizado por Tsiouris *et al.* (2020) se encontró una reducción en el pH del ciego por la inclusión en la dieta de suero al 5% y un ligero aumento en los valores de pH en las partes proximales del intestino. Además, Borojoni *et al.* (2014) demostraron que los efectos directos de la AO sobre el recuento de células bacterianas en las aves de corral solo se pueden suponer en el buche y el intestino delgado proximal.

Cuadro 4. Efectos de acidificantes no protegidos o acidificantes protegidos sobre el pH del tracto gastrointestinal de pollos de carne

Tratamiento	pH del tracto gastrointestinal						
	Buche	Proventrículo	Molleja	Duodeno	Yeyuno	Íleon	Ciego
T1	4.98 ^a	2.80 ^a	3.22 ^a	6.15 ^a	5.66 ^a	6.41 ^a	6.66 ^{ab}
T2	4.79 ^a	3.44 ^a	3.02 ^a	6.04 ^a	5.71 ^a	6.32 ^a	6.47 ^b
T3	4.45 ^a	2.84 ^a	2.66 ^a	6.18 ^a	5.80 ^a	6.51 ^a	6.75 ^{ab}
T4	4.52 ^a	3.00 ^a	3.11 ^a	6.16 ^a	5.67 ^a	6.50 ^a	7.12 ^a
T5	4.42 ^a	2.67 ^a	3.01 ^a	6.12 ^a	5.75 ^a	6.59 ^a	6.76 ^{ab}
p-Value	0.13	0.34	0.27	0.28	0.98	0.99	0.03

T1: dieta basal, T2: dieta basal + zinc bacitracina, T3: dieta basal + zinc bacitracina y acidificante no protegido (500 g/t), T4: dieta basal + zinc bacitracina y acidificante protegido (500 g/t), T5: dieta basal + zinc bacitracina y acidificante protegido (1000 g/t)

Los valores son el promedio y desviación estándar de 4 repeticiones (10 aves por repetición) por tratamiento
^{a,b,c} Superíndices diferentes dentro de las filas indican diferencia estadística ($p<0.05$)

Cuadro 5: Efecto de los ácidos orgánicos protegidos y no protegidos sobre la morfometría del yeyuno e íleon en pollos de carne

	Yeyuno					Íleon				
	Altura de vellosidad (μm)	Profundidad de cripta (μm)	Relación altura/profundidad de cripta	Ancho de vellosidad (μm)	Área de vellosidad (μm^2)	Altura de vellosidad (μm)	Profundidad de cripta (μm)	Relación altura/profundidad de cripta	Ancho de vellosidad (μm)	Área de vellosidad (μm^2)
T1	1457.1 ^a	215.5 ^a	7.1 ^{ab}	118.8 ^a	164,524 ^a	983.8 ^a	156.8 ^a	6.70 ^a	130.4 ^a	123,620 ^a
T2	1401.2 ^a	232.2 ^a	6.2 ^b	127.4 ^a	189,677 ^a	918.8 ^a	159.6 ^a	6.17 ^a	141.9 ^a	108,810 ^a
T3	1539.3 ^a	202.2 ^a	7.9 ^a	120.0 ^a	176,616 ^a	978.6 ^a	176.1 ^a	5.89 ^a	132.8 ^a	117,751 ^a
T4	1534.2 ^a	202.3 ^a	7.8 ^a	117.2 ^a	167,494 ^a	1000.5 ^a	154.3 ^a	6.69 ^a	145.0 ^a	118,753 ^a
T5	1560.8 ^a	203.0 ^a	8.1 ^a	122.7 ^a	183,536 ^a	1070.4 ^a	160.6 ^a	7.00 ^a	121.5 ^a	118,799 ^a

Tratamientos: T1: dieta control; T2: T1+ zinc bacitracina; T3: T2 + acidificante no protegido (500 g/t); T4: T2+acidificante protegido (500 g/t); T5: T2+acidificante protegido (1000 g/t)

² Valores son el promedio de 4 repeticiones (diez aves por repetición) por tratamiento

a,b,c superíndices diferentes dentro de columnas indican diferencia estadística ($p < 0.05$)

Los resultados de pH también están de acuerdo con Banday *et al.* (2015), quienes al trabajar con ácido fumárico (0.5, 1.0 y 1.5%) no encontraron cambios en el pH del buche, proventrículo y molleja ($p > 0.05$). Así mismo, Paul *et al.* (2007), al realizar su investigación con ácidos orgánicos combinados indicaron que los ácidos formiato de amonio más propionato de calcio y propionato de calcio más formiato de calcio y lactato de calcio no influyeron en el pH del TGI ($p > 0.05$) en los diferentes segmentos del tracto gastrointestinal de los pollos de engorde. No obstante, Olukosi y Dono (2014) demostraron que el pH del TGI se puede manipular. Así, por ejemplo, encontraron que la suplementación con harina de cúrcuma, sola o en combinación con harina de ajo a una tasa de 10 g/kg redujo ($p < 0.05$) el pH en el buche, proventrículo y ciego, pero no en el yeyuno. Salgado *et al.* (2011), tampoco encontraron diferencias significativas al evaluar el pH del proventrículo, molleja, duodeno, yeyuno e íleon TGI en pollos de 28 días con la adición de ácido cítrico (AC), a varios niveles (6.25, 12.5, 25 y 50 g/kg),

No se encontraron diferencias significativas en las variables de la morfometría intestinal del yeyuno y del íleon (Cuadro 5), excepto en la relación altura: profundidad del

yeyuno, donde T2 (con antibiótico), el valor es significativamente inferior que T3, T4 y T5. Este resultado favorable en la relación altura: profundidad de yeyuno coincide con Elnesr *et al.* (2020), quienes mencionan que el ácido butírico estimula el crecimiento de las vellosidades intestinales. Por otro lado, Mustafa *et al.* (2021) tampoco encontraron diferencias significativas luego de la inclusión de ácidos orgánicos en la dieta de pollos, posiblemente debido a lo que señala Dittoe *et al.* (2018) que la mayoría de los ácidos orgánicos se disocian antes de alcanzar la parte final del TGI y, por tanto, tienen poco o ningún efecto sobre el intestino. En el presente estudio, incluso en las dietas con ácidos orgánicos protegidos.

En el Cuadro 6 se observan los resultados del efecto de los tratamientos sobre la morfometría de la tibia. El diámetro interno del hueso en T5 fue significativamente mayor ($p < 0.05$) al de T2 y T3, en tanto que el ancho del hueso de T5 fue mayor al de T2. Al respecto, se conoce que algunos aditivos, tales como prebióticos, probióticos o ácidos orgánicos que se usan en reemplazo de los antibióticos pueden tener efecto sobre la salud ósea actuando sobre la absorción del calcio y la modulación de la microbiota (Whisner y Castillo, 2018).

Cuadro 6: Efecto de los ácidos orgánicos protegidos y no protegidos sobre la morfometría ósea de la tibia en pollos de carne

Tratamiento ¹	Peso de hueso	Largo de hueso	Diámetro lateral del hueso	Diámetro interno del hueso	Ancho del hueso	Volumen del hueso	Densidad
T1	7.82 ^a	103.96 ^a	9.92 ^a	8.56 ^{ab}	9.24 ^{ab}	12.25 ^a	0.64 ^a
T2	7.55 ^a	102.65 ^a	9.69 ^a	8.09 ^b	8.89 ^b	10.43 ^a	0.73 ^a
T3	7.69 ^a	101.92 ^a	9.87 ^a	8.28 ^b	9.08 ^{ab}	11.67 ^a	0.67 ^a
T4	8.47 ^a	104.48 ^a	10.47 ^a	8.91 ^{ab}	9.69 ^{ab}	12.57 ^a	0.69 ^a
T5	8.31 ^a	102.36 ^a	10.36 ^a	9.27 ^a	9.81 ^a	12.00 ^a	0.70 ^a

T1: dieta basal, T2: dieta basal + zinc bacitracina, T3: dieta basal + zinc bacitracina y acidificante no protegido (500 g/t), T4: dieta basal + zinc bacitracina y acidificante protegido (500 g/t), T5: dieta basal + zinc bacitracina y acidificante protegido (1000 g/t)

Los valores son el promedio y desviación estándar de 4 repeticiones (10 aves por repetición) por tratamiento

^{a,b,c} Superíndices diferentes dentro de columnas indican diferencia estadística ($p < 0.05$)

Cuadro 7: Relación entre el pH del tracto gastrointestinal con variables de morfometría ósea, morfometría intestinal del íleon y del yeyuno en pollos de 42 días de edad

pH	Morfometría ósea						Morfometría del íleon				Morfometría del yeyuno					
	P.V	P.P	P.H	L.H	A.H	D.O	A.V	P.C	RA/PC	An.V	Ar.V	A.V	P.C	RA/PC	An.V	Ar.V
Buche	-0.37	-0.34	-0.36	-0.14	-0.36	-0.15	0.09	0.02	-0.05	0.04	0.06	-0.19	0.14	-0.29	0.04	-0.17
Proventrículo	0.03	-0.18	0.21	0.10	0.03	-0.02	0.01	-0.12	0.09	0.07	0.03	0.05	0.05	0.23	-0.19	0.16
Molleja	0.06	0.05	0.23	0.31	0.1	-0.07	-0.34	-0.13	-0.19	0.09	-0.35	0.00	0.17	-0.18	0.02	-0.06
Duodeno	0.05	0.01	0.16	0.09	0.12	0.29	0.06	-0.17	0.20	-0.09	-0.02	-0.11	-0.13	0.13	0.19	0.07
Yeyuno	-0.33	-0.29	-0.39	-0.24	-0.26	-0.14	-0.04	0.15	-0.20	0.02	-0.09	-0.08	0.04	-0.09	-0.13	0.04
Íleon	-0.04	0.05	-0.26	-0.06	-0.28	0.1	-0.28	-0.02	-0.25	0.18	-0.22	-0.07	0.28	-0.38	-0.11	0.05
Ciego	0.31	0.14	0.22	0.19	0.13	0.08	-0.06	-0.16	0.13	-0.41	-0.06	-0.07	0.02	-0.10	0.13	0.00

P.V: Peso vivo, P.P: Peso de pechuga, P.H: Peso del hueso, L.H: Longitud de la tibia, A.H: Ancho de la tibia, D.O: densidad ósea, A.V: Altura de vellosidad, P.C: Profundidad de cripta, RA/PC: Relación altura/profundidad de cripta, An.V; Ancho de vellosidad, Ar.V: área de vellosidad

El pH del TGI estuvo asociado tanto con la morfometría intestinal como con la morfometría ósea (Cuadro 7), convirtiéndose en un indicador interesante para la salud ósea e intestinal pudiendo reflejarse en la respuesta productiva. Trabajando en ratas, Weaver *et al.* (2010) encontraron una relación alta ($r=0.59$) entre el peso del ciego y la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC). En este sentido, la relación encontrada en el presente estudio fue positiva entre el peso vivo y el pH del ciego ($r=0.31$). Por otro lado, es de suponer que los AGCC

reducen el pH del ciego, lo que conllevaría a una relación inversa. En este estudio se cumplen algunas relaciones inversas entre el pH de diferentes segmentos con variables de interés. Así, se observa una relación moderada inversa entre el peso vivo del animal, el peso de pechuga y el peso del hueso con el pH del buche y el pH del yeyuno. Además, el pH del buche tuvo una relación negativa y regular con el peso y el ancho del hueso respectivamente (-0.36 para ambos casos). Esto estaría indicando que a medida que el pH se hace más ácido en el buche y en yeyuno, el peso

vivo, el peso de la pechuga y el peso del hueso se incrementarían. De igual forma se puede observar una relación inversa entre el pH de la molleja con la altura de vellosidad del íleo y con el área de vellosidad ($r=-0.34$ y $r=-0.35$, respectivamente).

Se concluye que los antibióticos y ácidos orgánicos protegidos o no protegidos en combinación con antibióticos no influyen de forma significativa en los parámetros productivos, morfometría ósea e intestinal del yeyuno, pH del TGI en pollos de engorde. Así mismo, existe una relación regular de sentido negativo entre el pH del buche y el pH del yeyuno con el peso vivo, el peso de pechuga y el peso y ancho de la tibia y entre el pH de la molleja con morfometría intestinal del íleo.

LITERATURA CITADA

1. **Banday M, Adil S, Khan A, Untoo M. 2015.** A study on efficacy of fumaric acid supplementation in diet of broiler chicken. *Int J Poult Sci* 14: 589-594. doi: 10.3923/ijps.2015.589.594
2. **Borojani FG, Vahjen W, Mader A, Knorr F, Ruhnke I, Röhe I, Hafeez A, et al. 2014.** The effects of different thermal treatments and organic acid levels in feed on microbial composition and activity in gastrointestinal tract of broilers. *Poultry Sci* 93: 1440-1452. doi: 10.3382/ps.2013-03763
3. **Cobb. 2018.** Cobb500 broiler performance and nutrition supplement. [Internet]. Disponible en: <https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/c8850-fbe02/6998d7c0-12d1-11e9-9c88-c51e407c53ab.pdf>
4. **Elnesr SS, Alagawany M, Elwan HA, Fathi MA, Farag MR. 2020.** Effect of sodium butyrate on intestinal health of poultry—a review. *Ann Anim Sci* 20: 29-41. doi: 10.2478/aoas-2019-0077
5. **Ditoe DK, Ricke SC, Kiess AS. 2018.** Organic acids and potential for modifying the avian gastrointestinal tract and reducing pathogens and disease. *Front Vet Sci* 5: 216. doi: 10.3389/fvets.2018.00216
6. **Engberg RM, Hedemann MS, Leser TD, Jensen BB. 2000.** Effect of zinc bacitracin and salinomycin on intestinal microflora and performance of broilers. *Poultry Sci* 79: 1311-1319. doi: 10.1093/ps/79.9.1311
7. **Forbes M, Park JT. 1959.** Growth of germ-free and conventional chicks: effect of diet, dietary penicillin and bacterial environment. *J Nutr* 67: 69-84. doi: 10.1093/jn/67.1.69
8. **Gong J, Yu H, Liu T, Gill JJ, Chambers JR, Wheatcroft R, Sabour PM. 2008.** Effects of zinc bacitracin, bird age and access to range on bacterial microbiota in the ileum and caeca of broiler chickens. *J Appl Microbiol* 104: 1372-1382. doi: 10.1111/j.1365-2672.2007.03699.x
9. **Hinton A Jr, Corrier DE, Spates GE, Norman JO, Ziprin RL, Beier RC, DeLoach JR. 1990.** Biological control of *Salmonella typhimurium* in young chickens. *Avian Dis* 34: 626-633
10. **Hume ME, Corrier DE, Ivie GW, DeLoach, JR. 1993.** Metabolism of [14 C] propionic acid in broiler chicks. *Poultry Sci* 72: 786-793.
11. **Jijón WA, Vilchez-Perales C, García MS, Sotelo-Méndez A, Zea-Mendoza O. 2023.** Reemplazo progresivo de bacitracina metileno disalicilato por *Enterococcus faecium* sobre parámetros productivos y morfometrías intestinal y ósea en pollos de engorde. *Cienc Tecnol Agropec* 24: e3115. doi: 10.21930/rcta.vol24_num2_art:3115
12. **Jiménez L. 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. 46 p.

13. **Khan RU, Naz S, Raziq F, Qudrattullah Q, Khan NA, Laudadio V, Tufarelli V, Ragni M. 2022.** Prospects of organic acids as safe alternative to antibiotics in broiler chickens diet. *Environ Sci Pollut R* 29: 32594-32604. doi: 10.1007/s11356-022-19241-8
14. **Liao X, Shao Y, Sun G, Yang Y, Zhang L, Guo Y, Luo X, Lu L. 2020.** The relationship among gut microbiota, short-chain fatty acids, and intestinal morphology of growing and healthy broilers. *Poultry Sci* 99: 5883-5895. doi: 10.1016/j.psj.2020.08.033
15. **Mustafa A, Bai S, Zeng Q, Ding X, Wang J, Xuan Y, Su Z, Zhang K. 2021.** Effect of organic acids on growth performance, intestinal morphology, and immunity of broiler chickens with and without coccidial challenge. *AMB Express* 11: 140. doi: 10.1186/s13568-021-01299-1
16. **Nourmohammadi R, Hosseini SM, Saraee H, Arab A. 2011.** Plasma thyroid hormone concentrations and pH values of some GI-tract segments of broilers fed on different dietary citric acid and microbial phytase levels. *Am J Anim Vet Sci* 6: 1-6. doi: 10.3844/ajavsp.2011.1.6
17. **Oliveira PBD, Murakami AE, Garcia ERDM, Macari M, Scapinello, C. 2000.** Influence of antinutritional factors of leucaena (*Leucaena leucocephala* and *Leucaena cunningan*) and pigeon bean (*Cajanus cajan*) on the intestinal epithelium and performance of broiler chickens. *Rev Bras Zootec* 29: 1759-1769. doi: 10.1590/S1516-35982000000-600024
18. **Olukosi OA, Dono ND. 2014.** Modification of digesta pH and intestinal morphology with the use of benzoic acid or phytobiotics and the effects on broiler chicken growth performance and energy and nutrient utilization. *J Anim Sci* 92: 3945-3953. doi: 10.2527/jas.2013-6368
19. **Pham VH, Abbas W, Huang J, He Q, Zhen W, Guo Y, Wang Z. 2022.** Effect of blending encapsulated essential oils and organic acids as an antibiotic growth promoter alternative on growth performance and intestinal health in broilers with necrotic enteritis. *Poultry Sci* 101: 101563. doi: 10.1016/j.psj.2021.101563
20. **Polycarpo GV, Andretta I, Kipper M, Cruz-Polycarpo VC, Dadalt JC, Rodrigues PHM, Albuquerque R. 2017.** Meta-analytic study of organic acids as an alternative performance-enhancing feed additive to antibiotics for broiler chickens. *Poultry Sci* 96: 3645-3653. doi: 10.3382/ps/pex178
21. **Quarantelli A, Cacchioli A, Romanelli S, Righi F, Alpigiani I, Gabbi C. 2007.** Effects of different levels of dietary biotin on the performance and bone structure of broilers. *It J Anim Sci* 6: 5-7. doi: 10.4081/ijas.2007.5
22. **RStudio Team. 2020.** RStudio: Integrated Development for R. Boston, Estados Unidos: RStudio, PBC. <http://www.rstudio.com/>
23. **Shimizu K, Seiki I, Goto Y, Murata T. 2021.** Measurement of the intestinal pH in mice under various conditions reveals alkalization induced by antibiotics. *Antibiotics* 10: 180. doi: 10.3390/antibiotics10020180
24. **Tsiouris V, Kontominas MG, Filioussis G, Chalvatzi S, Giannenas I, Papadopoulos G, Koutoulis K, et al. 2020.** The effect of whey on performance, gut health and bone morphology parameters in broiler chicks. *Foods* 9: 588. doi: 10.3390/foods9050588
25. **Weaver CM, Martin BR, Story JA, Hutchinson I, Sanders L. 2010.** Novel fibers increase bone calcium content and strength beyond efficiency of large intestine fermentation. *J Agric Food Chem* 58: 8952-8957. doi: 10.1021/jf904086d

26. **Whisner CM, Castillo LF. (2018).** Prebiotics, bone and mineral metabolism. *Calcified Tissue Int* 102: 443-479. doi: 10.1007/s00223-017-0339-3
27. **Wise MG, Siragusa GR. 2007.** Quantitative analysis of the intestinal bacterial community in one- to three-week-old commercially reared broiler chickens fed conventional or antibiotic-free vegetable-based diets. *J Appl Microbiol* 102:1138-1149. doi: 10.1111/j.1365-2672.2006.-03153.x
28. **Zeng Z, Zhang S, Wang H, Piao X. 2015.** Essential oil and aromatic plants as feed additives in non-ruminant nutrition: a review. *J Anim Sci Biotechnol* 6: 7. doi: 10.1186/s40104-015-0004-5
29. **Zhou ZL, Rath NC, Huff GR, Huff WE, Rasaputra KS, Salas C, Coon CN. 2011.** Bone characteristics of 16 wk-old-turkeys subjected to different dietary supplements and simulated stress. *Intern J Poult Sci* 10: 332-337. doi: 10.3923/ijps.2011.332.337