

Alimentación y nutrición animal

Artículo de investigación científica y tecnológica

Reemplazo progresivo de bacitracina metileno disalicilato por *Enterococcus faecium* sobre parámetros productivos y morfometrías intestinal y ósea en pollos de engorde

Progressive Replacement of Bacitracin Methylene Disalicylate by *Enterococcus faecium* on Productive Parameters, Intestinal and Bone Morphometry in Broilers

 Jim Waldir Álvarez Jijón¹  Carlos Vélchez-Perales¹  Josselyn Milagros Serrano García¹
 Alejandrina Sotelo-Mendez¹  Otto Zea-Mendoza^{1*}

¹ Universidad Nacional Agraria La Molina, La Molina, Perú.

*Autor de correspondencia: Otto Zea Mendoza, Facultad de Zootecnia. Departamento de Nutrición. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. ottozea@lamolina.edu.pe

Recibido: 31 de julio de 2022
Aprobado: 20 de diciembre de 2022
Publicado: 10 de febrero de 2023

Editor temático: Edwin Castro, (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]), Nariño, Colombia.

Para citar este artículo: Álvarez Jijón, J. W., Vélchez-Perales, C., Serrano García, J. M., Sotelo-Mendez, 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. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(2), e3115. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num2_art:3115

Resumen: En probióticos para avicultura es necesario evaluar estrategias de uso. El estudio evaluó el efecto del reemplazo progresivo del antibiótico promotor de crecimiento (APC) por probiótico sobre parámetros productivos, morfometría intestinal y ósea en broilers de 1 a 21 días. 200 pollos BB machos Cobb 500 fueron distribuidos en cuatro tratamientos con 10 repeticiones y cinco animales por repetición. Los tratamientos fueron: T1: dieta basal con bacitracina metileno disalicilato (BMD:500 ppm) por 1-21 días; T2: dieta basal con BMD (500 ppm) por 1-14 días y *Enterococcus faecium* (17,5 ppm) por 15-21 días; T3: dieta basal con BMD (500 ppm) por 1-7 días y *Enterococcus faecium* (17,5 ppm) por 8-21 días y T4: dieta basal con *Enterococcus faecium* (17,5 ppm) por 1-21 días. Se registraron parámetros de producción y el día 21 se sacrificaron dos animales por repetición para recolectar muestras de yeyuno y tibiotarsos. Los datos fueron analizados mediante DCA usando el procedimiento Anova y Tukey para comparación de medias. Los resultados mostraron que el peso vivo y la ganancia de peso fueron diferentes ($p < 0,05$) para T1 sobre T2; en morfometría intestinal, T4 tuvo mayor altura y área de vellosidad ($p < 0,05$) que T1, T2 y T3; en profundidad de cripta, T1 fue menor que otros tratamientos y en resistencia a fractura T4 fue mayor ($p < 0,05$). Se concluye que reemplazar APC por probióticos no presentó diferencias entre tratamientos y aquellos tratamientos exclusivamente con antibióticos o probióticos influyeron en morfometría intestinal y resistencia a fractura.

Palabras clave: antibiótico promotor de crecimiento, morfometría intestinal, morfometría ósea, parámetros productivos, probiótico.

Abstract: In poultry probiotics it is necessary to evaluate strategies of use. The study evaluated the effect of progressive replacement of antibiotic growth promoter (APC) by probiotic on productive parameters, intestinal and bone morphometry in broilers from 1 to 21 days of age. 200 Cobb 500 male BB broilers were distributed in four treatments with 10 replicates and five animals per replicate. The treatments were: T1: basal diet with bacitracin methylene disalicylate (BMD:500 ppm) for 1-21 days; T2: basal diet with BMD (500 ppm) for 1-14 days and *Enterococcus faecium* (17.5 ppm) for 15-21 days; T3: basal diet with BMD (500 ppm) for 1-7 days and *Enterococcus faecium* (17.5 ppm) for 8-21 days and T4: basal diet with *Enterococcus faecium* (17.5 ppm) for 1-21 days. Production parameters were recorded and on day 21 two animals per replicate were sacrificed to collect jejunum and tibiotarsus samples. Data were analyzed by DCA using the Anova and Tukey procedure for comparison of means. The results showed that live weight and weight gain were different ($p < 0.05$) for T1 over T2; in intestinal morphometry, T4 had greater height and villus area ($p < 0.05$) than T1, T2 and T3; in crypt depth, T1 was lower than other treatments and in fracture resistance T4 was higher ($p < 0.05$). It is concluded that replacing APC with probiotics did not present differences between treatments and those treatments exclusively with antibiotics or probiotics influenced intestinal morphometry and resistance to fracture.

Keywords: Growth promoting antibiotic, Bone morphometry, Intestinal morphometry, Production parameters, Probiotic.



Introducción

En Perú, la avicultura representa un 55,13 % del sector pecuario, siendo sus principales representantes la crianza de pollos de carne y la producción de huevos. Este importante sector contribuye en la alimentación de millones de personas en Perú, siendo el consumo anual per cápita de carne de aves de 49,73 kg/hab (Minagri, 2020). En la crianza de pollos de engorde se busca lograr una mayor eficacia en la utilización de los alimentos que representan más del 70 % de los costos de producción, a través de investigaciones constantes en nutrición avícola. Una forma de mejorar la respuesta productiva es a través del uso de antibióticos promotores de crecimiento (APC), los cuales a su vez tienen efectos en la morfometría del intestino. Debido a lo anterior, el uso de APC se ha venido prohibiendo en algunos lugares como la Unión Europea, debido a la resistencia a los antibióticos en humanos, sin embargo, en nuestro país, las empresas avícolas continúan usando APC por su influencia positiva en la conversión alimenticia y debido a que resulta más cara la inclusión de probióticos.

La comparación entre antibióticos y probióticos, tales como el *Enterococcus faecium*, se ha evidenciado en trabajos como el de Wang et al. (2008), pero no se han realizado muchos estudios que evalúen la eliminación progresiva del antibiótico y su reemplazo por probióticos en el transcurso del periodo de crianza en programas de alimentación y su efecto sobre los parámetros de producción. Gamarra (2017), trabajando con pollos de carne hasta el día 40, ofreció ácidos grasos que de forma posterior fueron reemplazados por un antibiótico halogenado (halquinol), encontrando que el reemplazo en el día 21 presentaba una mejor conversión alimenticia en hembras.

Si este reemplazo progresivo del antibiótico funciona, resultaría estratégico desde el punto de vista económico por el costo mayor del probiótico, aunque, de acuerdo con Liao et al. (2020), esto podría provocar cambios en la microbiota intestinal, lo que amerita ser evaluado previamente. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es valorar el efecto del reemplazo progresivo del antibiótico bacitracina metileno disalicilato por *Enterococcus faecium* sobre los parámetros productivos, morfometrías intestinal y ósea y retribución económica en pollos de carne.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Aves (LINAA) del Departamento Académico de Nutrición de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). El periodo experimental tuvo una duración de 21 días, donde se emplearon 200 pollos BB de la línea Cobb 500, todos eran machos de un día de edad, distribuidos al azar en cuatro tratamientos: T1 (dieta basal con BMD 500 ppm por 1-21 días), T2 (dieta basal con BMD 500 ppm por 1-14 días y probiótico por 15-21 días), T3 (dieta basal con BMD (500 ppm) por 1-7 días y probiótico por 8-21 días) y T4 (dieta basal con *Enterococcus faecium* (17,5 ppm) por 1-21 días). Cada tratamiento estuvo constituido por 10 repeticiones, con cinco animales por cada repetición. Se usó el BMD (Zoetis) y el probiótico (Cylactin®; 2×10^{10} UFC/g) proveniente de la empresa DSM. El experimento se llevó a cabo en dos baterías de malla galvanizada de cinco pisos cada una y con cuarto

divisiones por piso, siendo implementadas con comederos y bebederos tipo canaleta en la parte externa.

Las dietas experimentales fueron formuladas siguiendo las especificaciones nutricionales de la línea Cobb 500 (Cobb, 2018). La composición y el valor nutricional calculados de las dietas experimentales se muestran en las tablas 1 y 2. Por otro lado, debido a que los tratamientos no coinciden con las dietas, se utilizaron dos dietas con probiótico y antibiótico, las cuales fueron repartidas en los cuatro tratamientos. Para la evaluación de los parámetros productivos se consideró el peso vivo, la ganancia de peso, el consumo de alimento y la conversión alimenticia, así como la retribución económica del alimento. Con tal fin, los parámetros productivos se tomaron en las primeras horas de la mañana en los días 7, 14 y 21, utilizando una balanza de precisión. Para realizar el cálculo de la retribución económica del alimento, se tomaron como ingresos los kilogramos de pollo producidos y como egresos el consumo de alimento. Para la morfometría intestinal, dos pollos por repetición fueron beneficiados para obtener segmentos del intestino, donde se cortó un segmento del intestino delgado correspondiente a la zona del yeyuno, el cual tuvo aproximadamente 2 cm de largo, y se ubicó a unos 8 cm antes del divertículo de Meckel (Zea et al., 2019).

Las muestras colectadas fueron remitidas al Laboratorio de Histomorfometría Aviar de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Unalm), en la cual se realizaron las siguientes mediciones: altura de vellosidad, ancho de vellosidad, profundidad de cripta, relación entre la altura de vellosidad y la profundidad de cripta y área de vellosidad.

Para la morfometría ósea y hallar el porcentaje de ceniza del tibiotarso, la muestra del lado izquierdo fue removido y procesado de acuerdo con el método descrito por Baumel & Witmer (1993). En síntesis, los tibiotarsos de los pollos fueron hervidos para remover los tejidos y capas de cartílagos, posteriormente fueron colocados en una mufla a 550 °C por 5 horas y el peso fue expresado como porcentaje de peso seco del hueso. En cambio, para las medidas de morfometría ósea, el tibiotarso del lado derecho fue limpiado mediante el proceso de raspado, es decir, la limpieza del hueso en crudo, retirando todo el exceso de carne, grasa y cartílago sin hervir, de acuerdo con la metodología descrita por Yupanqui (2017). Para determinar la resistencia ósea, se colocó el tibiotarso derecho del ave en la placa del durómetro y se calculó la resistencia a la fractura por flexión estática (Yupanqui, 2017).

El estudio se realizó con el equipo de ensayo mecánico Force Gauge Model FG-5020 (Digital Push Pull Gauge Sensor. Model FH 1K. Alemania). Los valores obtenidos fueron colectados directamente del equipo por medio de un programa computacional, donde los indicadores de mineralización ósea fueron obtenidos a través de la determinación de cenizas (Baumel & Witmer, 1993) y la resistencia ósea usando el equipo mencionado (Yupanqui, 2017). Para la morfometría ósea se usó el tibiotarso derecho, en el cual se evaluó el peso del hueso, su largo, ancho, volumen y densidad. Los indicadores de mineralización ósea fueron el índice modificado de Seedor, el índice de Quetele y el índice de robusticidad (Mabelebele et al., 2017).

Tabla 1. Composición porcentual y valor nutritivo de las dietas experimentales empleadas en la etapa de inicio (1-8 días)

	Dietas de inicio	
	Con probiótico	Con antibiótico
Maíz grano - 7,86 % PB	59,237	59,277
Torta de soya - 46 % PB	35,496	35,496
Aceite de soya	1,160	1,163
L-Lisina	0,235	0,235
Dl-Metionina	0,330	0,330
L-Treonina	0,103	0,103
Carbonato de calcio	0,651	0,636
Fosfato dicálcico	1,987	1,911
Sal común	0,479	0,478
Cloruro de colina 60 %	0,100	0,100
Premezcla de vitaminas y minerales	0,100	0,100
Secuestrante de micotoxinas	0,100	0,100
Antioxidante	0,020	0,020
Probiótico (<i>Enterococcus faecium</i>)	0,002	0,000
Antibiótico (BMD)	0,000	0,050
Total	100,000	100,000
Valor nutricional calculado (%)		
Energía metabolizable, Kcal/kg	2,975	2,975
Proteína bruta, %	21.652	21,652
Lisina digestible, 5	1.220	1,220
Metionina digestible, %	0.618	0,618
Met + cisteína digestible, %	0.910	0,910
Treonina digestible, %	0.830	0,830
Triptófano digestible, %	0.245	0,245
Calcio, %	0.900	0,900
Fósforo disponible, %	0.450	0,450
Sodio, %	0,200	0,200

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Composición porcentual y valor nutritivo de las dietas experimentales empleadas en la etapa de crecimiento (9-21 días)

	Dietas de crecimiento	
	Con probiótico	Con antibiótico
Maíz grano - 7,86 % PB	61,543	61,448
Torta de soya - 46 % PB	33,127	33,141
Aceite de soya	1,570	1,602
L-Lisina	0,181	0,181
Dl-Metionina	0,290	0,290
L-Treonina	0,032	0,032
Carbonato de calcio	0,611	0,611
Fosfato dicálcico	1,844	1,844
Sal común	0,480	0,480
Cloruro de colina 60 %	0,100	0,100
Premezcla de vitaminas y minerales	0,100	0,100
Secuestrante de micotoxinas	0,100	0,100
Antioxidante	0,020	0,020
Probiótico (<i>Enterococcus faecium</i>)	0,002	0,000
Antibiótico (BMD)	0,000	0,050
Total	100,000	100,0000
Valor nutricional calculado (%)		
Energía metabolizable Kcal/kg	3,025	3,025
Proteína bruta, %	20,605	20,605
Lisina digestible, %	1,120	1,120
Metionina digestible, %	0,568	0,568
Met + cisteína digestible, %	0,850	0,850
Treonina digestible, %	0,730	0,730
Triptófano digestible, %	0,232	0,232
Calcio, %	0,840	0,840
Fósforo disponible, %	0,420	0,420
Sodio, %	0,200	0,200

Fuente: Elaboración propia

Los datos registrados fueron sometidos a análisis de varianza (Anova) bajo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y 10 repeticiones por tratamiento, utilizando el programa R-Studio (RStudio Team, 2020), mientras que para la comparación de medias se utilizará la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Resultados y discusión

Parámetros productivos

En la tabla 3 se muestra el efecto del reemplazo progresivo del antibiótico promotor de crecimiento por probióticos sobre los parámetros productivos en pollos de carne. Los resultados muestran diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) en los parámetros productivos de peso vivo final y ganancia de peso T1 (dieta basal con BMD (500 ppm) por 1-21 días) y T2 (dieta basal con BMD (500 ppm) por 1-14 días y probiótico por 15-21 días). Al respecto, el cambio del antibiótico por un probiótico (*Enterococcus faecium*) estaría indicando que una manipulación de la microbiota intestinal en el día 14 podría, mediante dicho cambio, presentar una repercusión negativa en los pollos de carne. Liao et al. (2020) mencionan que la diversidad de la comunidad microbiana en aves muestra que la composición bacteriana es diferente entre las distintas edades. Por ejemplo, la edad afecta las abundancias relativas de firmicutes en el íleon y el ciego.

Además, estos mismos autores señalan que el probiótico usado en el presente experimento (*Enterococcus faecium*) tiene una mayor “abundancia natural” en el día 7, seguida por niveles bajos (debajo del 1 %) desde el día 14 hasta el día 42 de edad. De lo anteriormente mencionado, se deduce que la administración de *Enterococcus faecium* de forma posterior a los 14 días ya no contribuye y, por el contrario, el cambio de antibiótico hacia probiótico podría afectar a los parámetros productivos.

Por otro lado, no se encontraron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre el T1 (dieta basal con BMD) y el T4 (dieta basal con *Enterococcus faecium*) hasta los 21 días de edad, lo cual estaría indicando que el *Enterococcus faecium* es efectivo como reemplazo total del antibiótico (BMD); no obstante, cabe señalar que el tratamiento con el antibiótico (T1) presentó los mejores promedios, tanto de peso vivo como de conversión alimenticia en el trabajo. Estos resultados concuerdan con los realizados Mountzouris et al. (2007), quienes tampoco encontraron diferencias estadísticas en parámetros productivos en similares circunstancias y donde utilizaron *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus* y *Pediococcus* en pollos Cobb 500 durante seis semanas, sin encontrar diferencias estadísticas para ninguna respuesta productiva a los 21 días de edad. No obstante, a los 42 días se encontraron diferencias para el peso final en el tratamiento que contenía únicamente el antibiótico avilamicina en comparación con los tratamientos con probióticos

Resultados adversos fueron encontrados por Chávez et al. (2016), quienes al suplementar con *Enterococcus faecium* (10^8 UFC/ml) en el agua de bebida a pollos de engorde Cobb 500 durante 42 días mostraron una mejora en la respuesta productiva ($p < 0,05$), con respecto al antibiótico promotor de crecimiento en el peso final, conversión alimenticia y ganancia diaria de peso. Es probable que esta mejora del probiótico con respecto al antibiótico se deba a que los animales lo recibieron por mayor cantidad de días con respecto al presente experimento.

Tabla 3. Comportamiento productivo de pollos de carne alimentados con dietas de efecto del reemplazo progresivo del antibiótico promotor de crecimiento por probióticos (1-21 días de edad)

Medición	Tratamientos ¹			
	T1	T2	T3	T4
Peso vivo inicial, g/ave	41,46 ^{2a} ± 0,92	41,36 ^a ± 1,12	41,48 ^a ± 0,86	41,28 ^a ± 0,97
Peso vivo final, g/ave	992,65 ^a ± 33,77	943,53 ^b ± 27,25	977,03 ^{ab} ± 30,42	978,98 ^{ab} ± 29,77
Ganancia de peso g/día	45,29 ^a ± 1,61	42,96 ^b ± 1,32	44,55 ^{ab} ± 1,47	44,65 ^{ab} ± 1,41
Consumo de alimento, g/día	59,34 ^a ± 1,47	57,38 ^a ± 2,68	59,41 ^a ± 1,93	59,16 ^a ± 1,07
Conversión alimenticia, g/g	1,31 ^a ± 0,04	1,34 ^a ± 0,07	1,33 ^a ± 0,05	1,33 ^a ± 0,04
Mortalidad, %	0,0	2,5	2,5	2,5

Notas aclaratorias: ¹ T1: dieta basal con BMD (500 ppm) por 1-21 días, T2: dieta basal con BMD (500 ppm) por 1-14 días y probiótico por 15-21 días, T3: dieta basal con BMD (500 ppm) por 1-7 días y probiótico por 8-21 días y T4: dieta basal con *Enterococcus faecium* (17,5 ppm) por 1-21 días.

² Promedio y desviación estándar de 10 repeticiones (5 aves por repetición) por tratamiento.

^{a, b, c} Los superíndices diferentes dentro de filas indican una diferencia estadística ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Morfología intestinal

En la tabla 4 se muestra el reemplazo progresivo del antibiótico promotor de crecimiento por probióticos sobre la morfometría intestinal en pollos de 1 a 21 días. La altura de vellosidad fue mayor y diferente significativamente en T4 ($p < 0,05$), en comparación con T1, T2 y T3. De igual forma, se halló una mayor área de vellosidad en T4, en relación con T1, siendo igual (no obstante) a T2 y T3. La profundidad de cripta fue mayor en T4, siendo similar a T2 y T3, pero diferente estadísticamente a T1 ($p < 0,05$). Finalmente, no se encontró una diferencia significativa para el ancho de vellosidad y la relación altura:profundidad de cripta.

Resultados similares coinciden con Biswas et al. (2022), quienes comparando tratamientos que contenían ya sea un antibiótico comercial (zinc bacitracina metileno disalicilato) o una mezcla de probióticos (*Bacillus coagulans*, *Bacillus subtilis* y *Saccharomyces boulardii*) en pollos de engorde de 42 días, encontraron diferencias estadísticas significativas y favorables en altura de vellosidad para la mezcla de probióticos en comparación con el tratamiento con antibiótico (2089,7 y 2456,8 μm , respectivamente). Asimismo, de forma similar a nuestro trabajo en profundidad de cripta, se encontró que el antibiótico mantiene criptas de menor tamaño en comparación con la mezcla de probióticos (270,2 y 321,3 μm , respectivamente)

Por otra parte, los resultados hallados por dela Cruz et al. (2019) no concuerdan con nuestro trabajo, estos autores realizaron una investigación con pollos de engorde Cobb 500 durante 35 días, comparando dietas que contenían antibiótico (clortetraciclina y zinc bacitracina) y probiótico (*Enterococcus faecium*), pero no hallaron diferencias significativas para las medidas morfométricas de altura, profundidad y relación de la altura:profundidad de la cripta.

Además, la formación de criptas más profundas es algo que está referido con una renovación de vellosidades más rápida en respuesta a situaciones de procesos inflamatorios provocados por bacterias patógenas o sus toxinas (Yason et al., 1987; Chen et al., 2015). Este suceso requiere de energía y proteínas en mayor cantidad para mantener la integridad intestinal en comparación con otros órganos (Choct, 2009). Por lo tanto, una menor longitud de las vellosidades intestinales y criptas profundas ocasiona una absorción de nutrientes ineficiente, aumento de la secreción en el tracto gastrointestinal y un menor rendimiento productivo en el animal (Xu et al., 2003).

En un estudio realizado por Wang et al. (2008) con pollos de engorde Arbor Acres hasta los 42 días, mencionan que el uso de *Enterococcus faecium* aumenta la población de las bacterias productoras de ácidos grasos de cadena corta (butírico, propiónico, acético), las que de acuerdo con Frankel et al. (1994) estimulan la proliferación de células de la cripta normales, lo que genera criptas profundas y también vellosidades altas. Este resultado coincide con lo encontrado en el tratamiento con *Enterococcus faecium*, por lo que es probable que la mezcla de diferentes bacterias probióticas asociadas tengan un efecto positivo en disminuir la profundidad de cripta. La combinación de más de un probiótico, de acuerdo con Musa et al. (2009), tiene diferentes modos de acción, lo que podría aumentar su efecto protector contra infecciones bacterianas, manteniendo la integridad intestinal.

Igualmente, Zea (2020) encontró que la profundidad de cripta en comparación con el resto de variables de morfometría intestinal, tales como altura, ancho y área de vellosidad, presenta una mejor asociación con el peso vivo y el peso del hueso. Esta asociación demostrada entre la profundidad de cripta y los parámetros productivos explicaría el por qué en nuestros resultados, los animales del T1 presentaron mejor peso vivo y conversión alimenticia y a la vez tuvieron las criptas más cortas.

Morfometría ósea, ceniza y resistencia a la fractura

En las tablas 5 y 6 se muestra el reemplazo progresivo del antibiótico promotor de crecimiento por probióticos sobre la morfometría ósea, ceniza y resistencia a la fractura en pollos de 1 a 21 días. De acuerdo con los resultados, no se encontraron diferencias estadísticas ($p > 0,05$) para las variables en estudio de la morfometría ósea del tibiotarso, por lo que no concuerdan con la investigación realizada por Mohammed et al. (2021), quienes encontraron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) con una suplementación de otro probiótico, tal como *Bacillus subtilis*, en la dieta de pollos de engorde durante 35 días para las variables de longitud y peso de la tibia, sin hallar diferencia estadística para el índice del tibiotarso e índice de robusticidad en comparación con una dieta control. De igual forma en otro trabajo, realizado por Yan et al. (2020), se encontraron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) con el uso de *Bacillus subtilis* en la alimentación de pollos machos de la línea Ross 708 durante 44 días para las medidas óseas de peso, ancho, índice del tibiotarso e índice de robusticidad. Además, en un estudio realizado por Mutus et al. (2006)

evaluaron que la mezcla probiótica de *Bacillus licheniformis* y *Bacillus subtilis* suministrada en las dietas de pollos de carne durante 42 días, no presentó diferencias estadísticas en la morfometría ósea del peso, longitud y ancho del tibiotarso ($p > 0,05$), no obstante, sí encontraron diferencias significativas en otros parámetros como el índice del tibiotarso.

Tabla 4. Efecto del reemplazo progresivo del antibiótico promotor de crecimiento por probiótico sobre altura, ancho, área de vellosidad, profundidad de cripta, número de células caliciformes y relación altura: profundidad de cripta de las vellosidades intestinales del yeyuno (periodo 1-21 días de edad)

Medición	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Altura de vellosidad (μm)	730,74 ^{2a} $\pm$ 72,08	745,00 ^a $\pm$ 92,04	836,46 ^a $\pm$ 91,76	970,74 ^b $\pm$ 118,32
Ancho de vellosidad (μm)	77,20 ^a $\pm$ 11,38	81,41 ^a $\pm$ 11,55	77,02 ^a $\pm$ 12,79	79,86 ^a $\pm$ 13,97
Área de vellosidad (μm^2)	53168,92 ^a $\pm$ 10580,71	56918,80 ^{ab} $\pm$ 13210,40	61410,49 ^{ab} $\pm$ 11106,39	71558,24 ^b $\pm$ 18024,43
Profundidad de cripta (μm)	100,59 ^a $\pm$ 19,69	104,85 ^{ab} $\pm$ 28,80	113,49 ^{ab} $\pm$ 22,26	134,53 ^b $\pm$ 34,68
Relación altura de vellosidad con profundidad de cripta	7,26 ^a $\pm$ 1,92	7,10 ^a $\pm$ 2,18	7,37 ^a $\pm$ 1,12	7,22 ^a $\pm$ 1,77

Notas aclaratorias: ¹ T1: dieta basal con BMD (500 ppm) por 1-21 días, T2: dieta basal con BMD (500 ppm) por 1-14 días y probiótico por 15-21 días, T3: dieta basal con BMD (500 ppm) por 1-7 días y probiótico por 8-21 días y T4: dieta basal con *Enterococcus faecium* (17,5 ppm) por 1-21 días.

² Promedio y desviación estándar de 10 repeticiones (1 ave por repetición) por tratamiento.

^{a, b, c} Los superíndices diferentes dentro de filas indican una diferencia estadística ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Se puede considerar, por tanto, que el *Enterococcus faecium* no incrementa la absorción de minerales como el calcio o el fósforo, sin embargo, se conoce que ciertas técnicas de evaluación de mineralización ósea son más sensibles que otras en determinar el contenido real de calcio o fósforo en el hueso. Así, por ejemplo, lo señala Uculmana et al. (2018), quienes encontraron que el porcentaje de ceniza es más sensible que la densidad para determinar la mineralización ósea. Dicha sensibilidad, de acuerdo con la técnica empleada para evaluar la mineralización ósea, es demostrada por Horniakova (2005), quien trabajando con *Enterococcus faecium* encontró una diferencia estadística para el contenido de calcio en cenizas del tibiotarso, sin hallar diferencias para el resto de parámetros óseos. Los mejores promedios se encuentran en el T1 para peso, largo, ancho y densidad del tibiotarso. Por otro lado, el T1 presentó tendencia a ser diferente ($p = 0,07$) en la variable de densidad, el valor promedio del peso del tibiotarso fue de 2,53 mg, el cual resulta ligeramente mayor al encontrado por Zea et al. (2019) y Uculmana et al. (2018), quienes obtuvieron valores de 2,15 y 2,17 mg, respectivamente, esto se debería al cambio en la línea genética de los animales.

Tabla 5. Características morfométricas de las tibias y respuestas del grado de mineralización de pollos de carne de 21 días de edad alimentados con dietas de efecto del reemplazo progresivo del antibiótico promotor de crecimiento por probióticos

Medición	Tratamientos ¹			
	T1	T2	T3	T4
Peso de la tibia, mg	2,59 ^{2a} ± 0,22	2,50 ^a ± 0,17	2,52 ^a ± 0,20	2,50 ^a ± 0,18
Largo de la tibia, mm	68,23 ^a ± 2,22	67,97 ^a ± 1,48	66,80 ^a ± 0,93	68,08 ^a ± 1,86
Ancho de la tibia, mm	6,24 ^a ± 0,55	6,10 ^a ± 0,30	6,11 ^a ± 0,47	6,07 ^a ± 0,47
Densidad, mg/cm ³	0,75 ^a ± 0,08	0,74 ^a ± 0,09	0,67 ^a ± 0,04	0,68 ^a ± 0,08
Índice de Seedor, mg/mm	0,038 ^a ± 0,003	0,037 ^a ± 0,003	0,038 ^a ± 0,003	0,037 ^a ± 0,002
Índice de Quetelet, mg/mm ²	0,00056 ^a ± 3,55 e-05	0,00054 ^a ± 4,30 e-05	0,00056 ^a ± 3,59e-05	0,00054 ^a ± 3,45 e-05
Índice de robusticidad, cm/ $\sqrt[3]{\text{Peso}}$	4,97 ^a ± 0,13	5,01 ^a ± 0,16	4,91 ^a ± 0,10	5,02 ^a ± 0,13

Notas aclaratorias: 1 T1: dieta basal con BMD (500 ppm) por 1-21 días, T2: dieta basal con BMD (500 ppm) por 1-14 días y probiótico por 15-21 días, T3: dieta basal con BMD (500 ppm) por 1-7 días y probiótico por 8-21 días y T4: dieta basal con *Enterococcus faecium* (17,5 ppm) por 1-21 días.

² Promedio y desviación estándar de 10 repeticiones (1 ave por repetición) por tratamiento.

^{a, b, c} Los superíndices diferentes dentro de las filas indican una diferencia estadística ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la resistencia ósea se evidencia una diferencia estadística ($p < 0,05$) en el T4 frente a los demás tratamientos, sin embargo, no se presentó diferencia estadística para el porcentaje de cenizas en ninguno de los tratamientos. Nuestros resultados concuerdan con los reportados por Panda et al. (2006), quienes encontraron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) en la resistencia a la fractura del tibiotarso en pollos de 42 días de edad, favorable con el uso de un probiótico (*Lactobacillus sporogenes*) en la dieta del animal en comparación con una dieta basal, mientras que Panda et al. (2006) indicaron que la resistencia a la fractura se debe a una mejora en la absorción de calcio en el hueso por el probiótico utilizado; sin embargo, Viguet-Carrin et al. (2006) hacen énfasis en la influencia del colágeno sobre la resistencia a la fractura del tibiotarso, por tanto y de acuerdo con nuestros resultados, es posible que, aunque el *Enterococcus faecium* no influyera en mejorar la morfometría y la mineralización ósea, su efecto como microorganismo benéfico podría haber aumentado la matriz orgánica ósea representada por el colágeno mediante una mejor absorción de aminoácidos, tales como las proteínas que conforman esta molécula.

Por otra parte, en un estudio realizado por Ziaie et al. (2011) con pollos de carne Ross (308) hasta los 42 días de edad, no se reportó una diferencia estadística significativa entre los tratamientos que contenían antibiótico (virginiamicina) y un probiótico comercial en las dietas, respectivamente, para los parámetros de resistencia a la fractura y porcentajes de cenizas en el tibiotarso.

En relación con el porcentaje de cenizas, nuestros resultados difieren de los resultados de Fuentes et al. (2013) realizado en pollos de carne Cobb 500 durante 30 días, quienes hallaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para el porcentaje de ceniza, calcio y fósforo en los tibiotarsos de las aves, favorable para la dieta que contenía un probiótico comercial (*Lactobacillus salivarius* y *Pediococcus parvulus*) en comparación con una dieta sin dicho producto. De igual forma, en una investigación realizada por Mutus et al. (2006), estos mostraron una diferencia estadística ($p < 0,01$) para el contenido de ceniza favorable para la dieta con probióticos (*Bacillus licheniformis* y *Bacillus subtilis*) en comparación con una dieta control, pero no se halló una diferencia significativa para la resistencia a la fractura en tibiotarsos de pollos de engorde a los 42 días de edad.

Tabla 6. Efecto del reemplazo progresivo del antibiótico promotor de crecimiento por probiótico sobre la resistencia de la tibia y el porcentaje de cenizas (periodo de 1 a 21 días de edad)

Medición	Tratamientos ¹			
	T1	T2	T3	T4
Resistencia, kgf	2,10 ^{2b} ± 0,35	1,73 ^b ± 0,30	2,32 ^b ± 0,61	3,28 ^a ± 1,11
Cenizas, %	42,07 ^a ± 1,40	41,85 ^a ± 3,78	41,75 ^a ± 3,25	42,45 ^a ± 3,72

Notas aclaratorias: 1 T1: dieta basal con BMD (500 ppm) por 1-21 días, T2: dieta basal con BMD (500 ppm) por 1-14 días y probiótico por 15-21 días, T3: dieta basal con BMD (500 ppm) por 1-7 días y probiótico por 8-21 días y T4: dieta basal con *Enterococcus faecium* (17,5 ppm) por 1-21 días.

² Promedio y desviación estándar de 10 repeticiones (1 ave por repetición) por tratamiento.

^{a, b, c} Los superíndices diferentes dentro de las filas indican una diferencia estadística ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

En el trabajo, a pesar de que no hubo efecto en el tiempo de inclusión del probiótico, se ha demostrado un efecto diferente al de antibióticos en algunas variables de las morfometrías intestinal y ósea, por lo que su inclusión aporta una mayor cantidad de efectos que las estrictamente conocidas sobre la salud del intestino; por tanto, se recomienda evaluar otros aportes de diferentes probióticos en avicultura y considerarlas al momento de su inclusión en la dieta de las aves.

Conclusiones

Bajo en las condiciones en que se llevó a cabo el estudio, se concluye:

1. Los tratamientos que contienen solo probióticos o antibióticos no presentaron diferencias en parámetros productivos.
2. Los tratamientos dietarios no tuvieron efecto sobre la conversión alimenticia, sin embargo, sí afectaron la ganancia diaria de peso y el peso vivo final.
3. La inclusión de probióticos en la dieta mejora la altura y el área de vellosidad, mientras que el antibiótico influye de forma positiva en la profundidad de cripta.
4. El reemplazo completo de antibióticos (T1) por probióticos (T4) resultó en una mayor resistencia a la fractura del tibiotarso en comparación con los demás tratamientos.

Descargos de responsabilidad

No existen conflictos de interés. El experimento fue autofinanciado.

Contribución de los autores

Jim Alvarez Jijón. Recopilación de datos, construcción de bases de datos, análisis de información y elaboración de manuscrito. Carlos Vélchez Perales: Elaboración del proyecto, redacción del manuscrito, Josselyn Serrano García: Logística, contribución en el concepto de la investigación y manuscrito, Alejandrina Sotelo Mendez: Análisis de Laboratorio y análisis estadístico, revisión del manuscrito, Otto Zea Mendoza: Asesor, elaboración de proyecto, análisis de información y elaboración de manuscrito, revisión y corrección del manuscrito.

Implicaciones éticas

El presente artículo fue llevado a cabo teniendo en cuidado con el bienestar animal, habiéndose sacrificado a los animales de forma incruenta.

Conflicto de interés

Los autores manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Financiación

La investigación no tuvo financiamiento.

Referencias

- Baumel, J., & Witmer, L. (1993). Handbook of Avian Anatomy: Nomina anatomica avium. *The Condor*, 97(3), 849-850. <https://doi.org/10.2307/1369201>
- Biswas, A., Dev, K., Tyagi, P. K., & Mandal, A. (2022). The effect of multi-strain probiotics as feed additives on performance, immunity, expression of nutrient transporter genes and gut morphometry in broiler chickens. *Animal Bioscience*, 35(1), 64. <https://doi.org/10.5713/ab.20.0749>
- Chávez, L. A., López, A., & Parra, J. E. (2016). El uso de *Enterococcus faecium* mejora parámetros productivos en pollos de engorde. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 63(2), 113-123. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v63n2.59358>

- Chen, J., Tellez, G., Richards, J. D., & Escobar, J. (2015). Identification of potential biomarkers for gut barrier failure in broiler chickens. *Frontiers In Veterinary Science*, 2, 14. <https://doi.org/10.3389/fvets.2015.00014>
- Choct, M. (2009). Managing gut health through nutrition. *British Poultry Science*, 50(1), 9-15. <https://doi.org/10.1080/00071660802538632>
- Cobb. (2018). Cobb500 broiler performance and nutrition supplement. <https://www.cobb-vantress.com/assets/5a88f2e793/Broiler-Performance-Nutrition-Supplement.pdf>
- dela Cruz, P., Dagaas, C. T., Mangubat, K. M., Angeles, A. A., & Abanto, O. D. (2019). Dietary effects of commercial probiotics on growth performance, digestibility, and intestinal morphometry of broiler chickens. *Tropical Animal Health And Production*, 51(5), 1105-1115. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-01791-0>
- Frankel, W. L., Zhang, W., Singh, A., Klurfeld, D. M., Don, S., Sakata, T., Modlin, I., & Rombeau, J. L. (1994). Mediation of the trophic effects of short-chain fatty acids on the rat jejunum and colon. *Gastroenterology*, 106(2), 375-380. [https://doi.org/10.1016/0016-5085\(94\)90595-9](https://doi.org/10.1016/0016-5085(94)90595-9)
- Fuentes, C., Orozco, L., Vicente, J., Velasco, X., & Menconi, A. (2013). Effect of a lactic acid bacteria based probiotic, Floramax-B11®, on performance, bone qualities, and morphometric analysis of broiler chickens: an economic analysis. *Biological Systems*, 2(113), 2. <https://doi.org/10.4172/2329-6577.1000113>
- Gamarra, R. (2017). *Comparación de índices productivos y análisis económico al suplementar en la ración de pollos con ácidos orgánicos y halquinol* [Tesis de Maestría en Administración]. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3129/L02-G35-T.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Horniakova, E. (2005). The influence of *Enterococcus faecium* M-74 bacteria on bone mineralization in chickens. In *Proceedings of the 15th European Symposium on poultry nutrition, Balatonfüred, Hungary, 25-29 September, 2005* (pp. 206-208). Países Bajos: World's Poultry Science Association.
- 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 Science*, 99(11), 5883-5895. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.033>
- Mabelebele, M., Norris, D., Siwendu, N. A., Ng'ambi, J., Alabi, O. J., & Mbajiorgu, C. (2017). Bone morphometric parameters of the tibia and femur of indigenous and broiler chickens reared intensively. *Applied ecology and environmental research*, 15(4), 1387-1398. http://dx.doi.org/10.15666/aer/1504_13871398
- Minagri. (2020). *Producción y comercialización de productos avícolas*. Lima: Minagri. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1661957/Bolet%C3%ADn%20sobre%20producci%C3%B3n%20y%20comercializaci%C3%B3n-%20av%C3%ADcola%20-%20diciembre%202020.pdf>
- Mohammed, A. A., Zaki, R. S., Negm, E. A., Mahmoud, M. A., & Cheng, H. W. (2021). Effects of dietary supplementation of a probiotic (*Bacillus subtilis*) on bone mass and meat quality of broiler chickens. *Poultry Science*, 100(3), 100906. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.11.073>
- Mountzouris, K. C., Tsirtsikos, P., Kalamara, E., Nitsch, S., Schatzmayr, G., & Fegeros, K. (2007). Evaluation of the efficacy of a probiotic containing *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*,

- Enterococcus*, and *Pediococcus* strains in promoting broiler performance and modulating cecal microflora composition and metabolic activities. *Poultry Science*, 86(2), 309-317. <https://doi.org/10.1093/ps/86.2.309>
- Musa, H. H., Wu, S. L., Zhu, C. H., Seri, H. I., & Zhu, G. Q. (2009). The potential benefits of probiotics in animal production and health. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8(2), 313-321. https://www.researchgate.net/publication/256194403_The_Potential_Benefits_of_Probiotics_in_Animal_Production_and_Health
- Mutus, R., Kocabağlı, N., Alp, M., Acar, N., Eren, M., & Gezen, S. (2006). The effect of dietary probiotic supplementation on tibial bone characteristics and strength in broilers. *Poultry Science*, 85(9), 1621-1625. <https://doi.org/10.1093/ps/85.9.1621>
- Panda, A. K., Rao, S. V., Raju, M. V., & Sharma, S. R. (2006). Dietary supplementation of *Lactobacillus sporogenes* on performance and serum biochemical-lipid profile of broiler chickens. *The Journal of Poultry Science*, 43(3), 235-240. <https://doi.org/10.2141/jpsa.43.235>
- RStudio Team. (2020). RStudio: Integrated Development for R. Boston, Estados Unidos: RStudio, PBC. <http://www.rstudio.com/>
- Viguet-Carrin, S., Garnero, P., & Delmas, P. D. (2006). The role of collagen in bone strength. *Osteoporosis international*, 17(3), 319-336. <https://doi.org/10.1007/s00198-005-2035-9>
- Uculmana, C., Martínez-Patiño, D., Zea, O., & Vilchez, C. (2018). Efecto de la relación calcio y fósforo sobre las características óseas, porcentaje de cenizas e integridad esquelética en pollos de carne. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 29(4), 1268-1277. <https://doi.org/10.15381/rivep.v29i4.15199>
- Wang, Y., Tian, Z., Yao, J., & Li, W. (2008). Effect of probiotics, *Enterococcus faecium*, on tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth performance and immune response. *Aquaculture*, 277 (3-4), 203-207. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.03.007>
- Xu, Z. R., Hu, C. H., Xia, M. S., Zhan, X. A., & Wang, M. Q. (2003). Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers. *Poultry Science*, 82(6), 1030-1036. <https://doi.org/10.1093/ps/82.6.1030>
- Yan, F., Wang, W., & Cheng, H. W. (2020). *Bacillus subtilis*-based probiotic promotes bone growth by inhibition of inflammation in broilers subjected to cyclic heating episodes. *Poultry Science*, 99(11), 5252-5260. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.051>
- Yason, C. V., Summers, B. A., & Schat, K. A. (1987). Pathogenesis of rotavirus infection in various age groups of chickens and turkeys: pathology. *American Journal Of Veterinary Research*, 48(6), 927-938. <https://europepmc.org/article/med/3605809>
- Yupanqui, R. (2017). *Metodologías de obtención de hueso y predicción de resistencia como indicador de integridad esquelética en pollos de carne* [Tesis de Ingeniería]. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3482?show=full>
- Zea, O., Huaranga, D., Jiménez, L., Pérez, J., Serrano, J., Meza, I., Bernuy, O., & Vilchez, C. (2019). Efecto de cinco niveles de goma de tara sobre el comportamiento productivo, mineralización ósea y morfometría intestinal en pollos de carne. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(2), 663-675. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i2.16100>

- Zea, O. (2020). *Morfometría ósea e intestinal, colesterol sanguíneo y sus interrelaciones en broilers alimentados con diferentes niveles de goma de Tara (Caesalpinia spinosa)*. [Tesis de Doctorado]. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAL_8d889db13438271159dae61ce4599b1e/Details
- Ziaie, H., Bashtani, M., Torshizi, M. K., Naeemipour, H., Farhangfar, H., & Zeinali, A. (2011). Effect of antibiotic and its alternatives on morphometric characteristics, mineral content and bone strength of tibia in Ross broiler chickens. *Global Veterinaria*, 7(4), 315-322. [https://www.idosi.org/gv/GV7\(4\)11/1.pdf](https://www.idosi.org/gv/GV7(4)11/1.pdf)