

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Evaluación de un prebiótico sobre el estrés calórico e integridad intestinal de pollos de engorde

Ramón Nadales-Ortiz¹, Vasco de Basilio^{2†}, Isamery Machado³ y Hedy Nuraef⁴

RESUMEN

Con el propósito de evaluar el efecto de prebióticos sobre el estrés calórico e integridad intestinal de pollos de engorde Ross 308, se evaluaron 3 tratamientos que consistieron en: T1) sin prebiótico; T2) prebiótico en agua y cama; y T3) prebiótico en cama. El experimento se realizó en la sección de aves del Laboratorio de Unidad de Ambiente Semi-Controlado del Instituto de Producción Animal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Se utilizaron 144 pollos en un diseño completamente aleatorizado con tres tratamientos, seis repeticiones y ocho pollos por unidad experimental. Se monitoreó ambientalmente la temperatura y la humedad relativa, la calidez de la cama y la del agua de bebida. Se cuantificó la temperatura corporal y nivel de hiperventilación. Se evaluaron lesiones intestinales en el duodeno, yeyuno, íleon, ciego y colon. Se analizaron cortes histológicos para determinación de lesiones en vellosidades intestinales. La utilización del prebiótico generó menores temperaturas corporales y tiene potencial para minimizar los efectos adversos del estrés calórico. Los daños intestinales por hemorragias equimóticas y petequiales fueron más frecuentes y de mayor intensidad en el tratamiento testigo en la sección duodenal del intestino. A nivel microscópico, el tratamiento testigo presentó el mayor número y nivel de gravedad para desprendimiento e inflamación de vellosidades

¹Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Animal. Apartado postal 4579, Maracay, Venezuela. Correo: rnadales.ortiz@gmail.com (<https://orcid.org/0009-0004-4500-9591>).

^{2†}Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Animal. Apartado postal 4579, Maracay, Venezuela.

³Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Animal. Apartado postal 4579, Maracay, Venezuela. Correo: isamerymachado@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-3662-3034>).

⁴TECNOAgua. Pampatar, Nueva Esparta, Venezuela. Autor para correspondencia: rennybarrios@gmail.com (<https://orcid.org/0009-0002-1197-6351>).

Recibido: 17 noviembre 2023 Aceptado: 15 agosto 2024

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial SinObrasDerivadas 4.0.



intestinales y para lesiones de congestión, infiltrado y hemorragia. Los prebióticos constituyen una alternativa válida para el manejo de pollos en áreas geográficas donde el estrés calórico limita su explotación.

Palabras claves: Prebióticos, estrés calórico, hemorragia, desprendimiento, congestión, inflamación, vellosidades.

ABSTRACT

Evaluation of a prebiotic on heat stress and intestinal integrity of broiler chickens. To evaluate the effect of prebiotics on heat stress and intestinal integrity in Ross 308 broiler chickens, three treatments were assessed: T1) without prebiotic; T2) prebiotic in water and litter; and T3) prebiotic in litter. The experiment was conducted in the poultry section of the Semi-Controlled Environment Unit Laboratory at the Institute of Animal Production, Faculty of Agronomy, Central University of Venezuela. A total of 144 chickens were used in a completely randomized design with three treatments, six replicates, and eight chickens per experimental unit. Environmental monitoring included temperature, relative humidity, litter warmth, and drinking water temperature. Body temperature and hyperventilation levels were measured. Intestinal lesions in the duodenum, jejunum, ileum, cecum, and colon were evaluated. Histological sections were analyzed to determine lesions in the intestinal villi. The use of prebiotics resulted in lower body temperatures and has the potential to minimize the adverse effects of heat stress. Intestinal damage due to ecchymotic and petechial hemorrhages was more frequent and severe in the control treatment in the duodenal section of the intestine. Microscopically, the control treatment presented the highest number and severity of villous detachment and inflammation, as well as congestion, infiltration, and hemorrhage lesions. Prebiotics represent a valid alternative for managing chickens in geographical areas where heat stress limits their production.

Keywords: prebiotics, heat stress, hemorrhage, shedding, congestion, inflammation, villi.

INTRODUCCIÓN

La avicultura, una de las industrias más sólidas e importantes en el mundo, constituye uno de los sectores más relevantes a nivel global en la seguridad alimentaria con un papel protagónico en los mercados internacionales. Las cifras para el mercado avícola mundial proyectan un crecimiento de 4,1% entre 2021 y 2025 para alcanzar una producción de 100,9 millones de Tm, de donde se esperan exportaciones cercanas a 13,4 millones de Tm lideradas por Brasil, Estados Unidos y China (Cuellar, 2022).

En este contexto de expansión y relevancia global, la consideración del bienestar animal se vuelve crucial. Este concepto es complejo y multidimensional dentro de la producción de pollos de engorde y gallinas ponedoras, cuyo abordaje requiere la consideración de una variedad de requisitos y medidas relacionadas con sus diversas dimensiones (salud, comodidad, comportamiento, relación con los cuidadores, productividad, estado mental) (Zamora-Sanabria et al., 2022). Proyectos de alcance mundial, como el de calidad de bienestar, han propuesto la creación de indicadores basados en principios como buena alimentación, buena salud, estabulación y comportamiento saludable (Welfare Quality Project, 2009).

La mayoría de los productores de aves de sistemas intensivos adoptan el enfoque de funcionamiento biológico. Este establece que el bienestar animal depende de un alto nivel de salud, crecimiento y eficiencia de producción, y proponen que los parámetros zootécnicos, expresados como índices de productividad (salud, integridad e inmunocompetencia), sean la expresión más objetiva de los ajustes homeostáticos. De esta manera, las aves expresan su potencial genético (Zamora-Sanabria et al., 2022).

Dentro del bienestar animal, el estrés por calor en las aves es una respuesta fisiológica al efecto combinado de altas temperaturas y humedad relativa ambiental (Corona, 2012). El calor altera el rendimiento y la productividad al causar estrés. De manera similar, provocan cambios fisiológicos que se reflejan en la salud de las aves debido a que una de las respuestas es el aumento de la frecuencia y volumen respiratorio (hiperventilación). En consecuencia, ocurre pérdida excesiva de dióxido de carbono, lo que conduce a la caída

de la concentración del ácido carbónico y del hidrógeno (Maina, 2022). Los riñones aumentan la excreción de ácido carbónico (H_2CO_3) y reducen la de hidrógeno (H) para mantener el equilibrio ácido base del ave, provocando la alcalosis respiratoria (Salem et al., 2022).

El aislamiento y la ventilación mitigan los efectos fisiológicos indeseables del estrés por calor. De modo análogo, se pueden realizar otros correctivos; como mantener óptima la temperatura del agua potable, el uso de proteínas alimenticias altamente digeribles, electrolitos, antioxidantes y oligoelementos orgánicos específicos (Pareja-Arcila et al., 2018). Asimismo, Farfán et al. (2010) indican que la adición de minerales en el agua permite disminuir la temperatura corporal, el nivel de hiperventilación y la mortalidad hasta 22% durante la simulación del estrés calórico agudo.

Por otro lado, el tracto gastrointestinal tiene como principal objetivo la degradación y absorción de nutrimentos necesarios para mantenimiento, crecimiento y producción. Está caracterizado como un ambiente dinámico, constituido por interacciones complejas entre el contenido presente en el lumen intestinal, microorganismos y las células epiteliales de absorción, las cuales proporcionan protección física y de defensa inmune (Shehata et al., 2022). Betancourt et al. (2012) afirman que el estado de las vellosidades intestinales y células epiteliales son buenos indicadores de la capacidad para absorber nutrientes. De tal forma, las alteraciones en la histología intestinal responden a suplementos en la dieta, los cuales activan funciones intestinales que promueven el crecimiento y la inmuno-estimulación.

La presencia de bacterias causantes de necrosis intestinal (*Clostridium perfringens*, *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*) en pollos de engorde puede provocar importantes pérdidas económicas. Abd El-Hack et al. (2022) vinculan los trastornos digestivos a insuficiencias en la absorción de los nutrientes y a infecciones que se asocian con la interrupción del ecosistema microbiológico del tracto gastrointestinal. A razón de ello, los productores han recurrido al uso de antibióticos en dosis sub-terapéuticas, y, así, mejorar el crecimiento, la eficiencia alimenticia y la salud del animal; sin embargo, debido a ciertos efectos adversos bien conocidos, como la resistencia a los antimicrobianos y los

residuos en la carne, el uso de antibióticos ha sido objeto de severas críticas y su uso incontrolado se ha reducido en muchos países desarrollados del mundo (Abudabos et al., 2018; Safiullah et al., 2019).

La restricción al uso de antibióticos promotores de crecimiento, aunado a la creciente demanda de productos diferenciados, saludables y seguros, ha impulsado la búsqueda de aditivos funcionales de origen natural que promuevan el restablecimiento de la flora intestinal; como es el caso de los prebióticos, probióticos, fitobióticos y aceites esenciales, entre otros. En tal sentido, la presente investigación evaluó el efecto de medios alternativos orgánicos o bio-sanitizadores, como el prebiótico Bio Optimize[®], sobre el estrés calórico; así como también su influencia en la integridad intestinal en pollos de engorde.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El experimento se realizó en la sección de aves del Laboratorio de Unidad de Ambiente Semi-Controlado (UASC) del Instituto de Producción Animal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela (UCV). Esta se ubica en Maracay, estado Aragua, coordenadas UTM de 10.273962 LN y -67.608286 LO, con una altitud de 455 m, temperatura promedio anual de 25 °C, humedad relativa de 75% y precipitación anual promedio 800 mm (Climate Data, 2023).

Instalaciones, equipos y manejo de las aves

El ensayo tuvo una duración de 35 días y fue realizado desde finales de junio a principios de agosto de 2020. La UASC fue dividida en 4 salas, con 6 corrales cada una, para constituir 24 unidades experimentales. Las salas fueron previamente lavadas y desinfectadas con cal viva a razón de 200 g/m² y humedecida con agua, con asperjadora manual de espalda marca Guarany. En el caso de las paredes y brocales, se empleó 1 kg cal/5 L de agua previamente colocada en inmersión por un día y aplicada con brocha y/o cepillo de barrer.

Las salas estaban separadas por paredes de concreto de 60 cm de altura, mallas plásticas y

cortinas de alta resistencia e impermeabilidad para favorecer el aislamiento entre ellas. Durante los primeros siete días los pollos bebés estuvieron en una sola sala de 12 m². Cumplido ese plazo, después de la recepción de los pollitos en la sala de la UASC, fueron vacunados contra las enfermedades de Newcastle y Gumboro, suministradas en el agua de bebida.

Para garantizar la efectividad de la vacunación vía oral, se restringió el suministro de agua por dos horas previo a la aplicación de las vacunas. El refuerzo de estas se realizó por el mismo método a los 14 días de permanencia en la UASC. En ese espacio, se adicionaron comederos tipo plato y bebederos de galón.

De modo análogo, se colocó una criadora modelo M8 Gaselec para controlar la temperatura a 34 °C, con capacidad para criar entre 120-1600 aves. Tenía sus respectivos termostatos y sensores, ubicados en paneles de control externo. La temperatura fue disminuida gradualmente a razón de 1 °C/día hasta estabilizarse con la temperatura ambiente, de acuerdo con la estación meteorológica ubicada fuera del galpón de cría.

Manejo de las aves

Para realizar el experimento, se dispuso de 300 pollitos con un día de nacidos, híbridos Ross 308; integrados por 150 hembras y 150 machos. De estos animales, se seleccionaron al azar 15 aves para evaluar su calidad.

Para realizar la distribución homogénea en cuanto a masa de las aves en las diferentes unidades experimentales, se tomó una muestra aleatoria de 10 pollitos y se pesaron individualmente. Con el resultado de la cuantificación, se elaboró una distribución o campana de Gauss para formar las diferentes categorías de masa (pequeños y grandes) y sexo (machos y hembras). Se pesaron todas las aves disponibles para la investigación y luego se ubicaron en una de las categorías, tomando un animal por categoría, formándose así grupos homogéneos. Para el día 7, se seleccionaron 144 animales al azar de ambas categorías y se distribuyeron en las 24 jaulas en las cuatro salas, quedando 8 pollos por jaula.

Manejo del alimento

El sistema de alimentación utilizado fue el preiniciador comercial Alconca[®], con la siguiente

composición nutricional: humedad (máxima) 12%; proteína cruda (mínima) 22%; grasa cruda (mínima) 3%; fibra cruda (máxima) 4%; extracto libre de nitrógeno (ELN) 50%; calcio 1% y fósforo 0,60%. La ración de crecimiento entre 8-20 días y engorde entre 21-35 días se describen en el Cuadro 1 y Cuadro 2. Para las etapas de crecimiento y engorde, las formulaciones del concentrado fueron elaboradas y balanceadas a través de hojas de cálculo de Excel®, desarrolladas en el laboratorio de aves según los requerimientos de los pollos Ross 308 (Aviagen, 2018) y ofrecido *ad libitum*, al igual que el agua en todo momento.

Cuadro 1. Composición de las dietas experimentales para pollos de crecimiento y engorde.

Materias primas	Crecimiento	Engorde
	%	
Maíz	53,52	55,75
Soya	37,31	33,48
Aceite de soya	5,56	6,00
Sal	0,35	0,38
Carbonato de calcio	1,10	1,68
Fósforo dicálcico	1,47	1,99
Lisina	0,10	0,06
Metionina	0,26	0,16
Premezcla, vitaminas y minerales*	0,33	0,50

*Manganeso 100 g; Zinc 40 g; Cobre 4 g; Hierro 27 g; Selenio 0,075 g; Yodo 2 g; Vitamina A 7500000 UI, Vitamina D 3000000 UI, Vitamina E 20 g; Vitamina K 2 g; Vitamina B2 5,6 g; Nicot 26 g; Pantotenato 8 g; Vitamina B12 0,01 g; Vitamina B6 1 g; Fólico 0,3 g; Colina 350 g.

Cuadro 2. Análisis bromatológico de las dietas experimentales para pollos de crecimiento y engorde.

Análisis bromatológico	Crecimiento	Engorde
	%	
Materia seca	91,54	90,39
Humedad	8,46	9,61
Ceniza	6,08	5,46
Proteína cruda	24,72	19,34
Fibra cruda	3,27	3,09
Extracto etéreo	8,45	11,10

Tratamientos

Los tratamientos empleados en el experimento consistieron en: T1) Testigo sin uso del prebiótico (Sin prebiótico); T2) Prebiótico aplicado en la cama a partir del día 9 y en el agua de bebida a partir del día 21 de forma conjunta (Prebiótico en agua y cama); T3) Prebiótico aplicado únicamente en la cama a partir del día 9 (Prebiótico en cama).

El prebiótico utilizado fue Bio-Optimize®, el cual es denominado técnicamente ETA 1010/ETA 1000/ETA 1030, registro MAT-1207, N°. INSAI20210023207112, con registro sanitario 0023-2016-MPPS-DGSA. La formulación posee dos presentaciones: una para ser usada en aspersión y otra de ingesta oral en el agua de bebida (TecnoAgua, 2020).

El inicio de las aspersiones del prebiótico a la cama, constituida por cáscara de arroz, ocurrió el día siguiente de la primera vacunación (octavo día del ciclo de las aves). La aplicación se realizó con asperjadora manual marca Swissmex modelo 310040 de 1500 mL de capacidad; a razón 0,5 mL de prebiótico/1400 mL de agua distribuidos en los 6 m² de la unidad experimental. Las aspersiones se realizaron entre las 7:00-9:00 a. m. por dos días consecutivos y uno de descanso a partir del día 9 del ciclo de vida de las aves y culminadas el día 35.

Para la ingesta oral, el prebiótico se diluyó en el agua de bebida contenida en una bolsa de agua tipo Camping, marca Coleman de 20 L de capacidad, conectada con el bebedero y consumida por las aves diariamente a partir del día 21 de su ciclo. En esta implementación se suministró una dosis de 0,025 mL de prebiótico/día y se adicionaron 0,005 mL cada 5 días. De esta manera, al día 26 tuvieron una ingesta de 0,030 mL y para el día 30 era de 0,035 mL. Para la aplicación de las dosis, se utilizó una micropipeta marca Landa de 100-1000 µL.

Variables cuantificadas

Variables ambientales

Humedad relativa y temperaturas (ambiental, cama y agua de consumo)

Se determinaron mediante la utilización de dos estaciones meteorológicas marca Campbell,

una ubicada contigua a la UASC y otra instalada dentro del galpón. Con la estación meteorológica colocada en el exterior de la UASC y conectada a un sensor automático Data Logger, se cuantificó, a intervalos de 30 minutos y con promedios de una hora, las variables temperatura ambiental (TA) y humedad relativa (HR). De manera similar, y con sensores de temperatura adosados a la estación ubicada en el interior de la UASC, se determinó la temperatura del agua de bebida (Tagua) y la temperatura de la cama (Tcama) en cada sala. El sensor destinado para medir la Tagua fue ubicado inmerso en el agua de un bebedero seleccionado al azar. El sensor destinado para la medición de Tcama se ubicó entre 2 y 3 cm dentro de la cama, en un corral elegido al azar.

Variables fisiológicas

Temperatura corporal (TC)

La temperatura corporal se determinó a los 21, 28 y 35 días en dos aves elegidas al azar, entre las 12:00 y las 13:00 horas, con un termómetro de sonda marca Testo 110, de 0,1 °C de precisión y amplitud de medición comprendida entre 0 y 60 °C. El procedimiento se realizó introduciendo a nivel del colon terminal una sonda de hasta 5 cm por la cloaca del ave y el dispositivo se mantuvo ahí hasta estabilizarse la lectura.

Nivel de hiperventilación (NH)

Se les realizó a dos pollos por corral, un macho y una hembra previamente seleccionados e identificados. Los datos se tomaron a los 21, 28 y 35 días del ciclo de vida de las aves entre las 13:00 y las 14:00 horas. La medición comenzó luego del inicio del jadeo, reconocido con la apertura del pico; con lo cual se activaba un cronómetro marca Casio con precisión de 0,01 segundos y se detenía luego de contar 15 inspiraciones ininterrumpidas. Los valores obtenidos fueron transformados a número de inspiraciones por minuto, haciendo la distinción entre sexos para el análisis estadístico.

Variables anatómicas

Integridad intestinal

A los 35 días, se tomaron muestras de dos aves por repetición, las cuales fueron sacrificadas mediante insensibilización por dislocación cervical y por desangrado a través del corte yugular. Seguidamente, se realizó la necropsia para evaluar los órganos del tracto

gastrointestinal. Se tomaron las muestras, las cuales fueron debidamente identificadas y se ingresaron a formalina al 10% para su preservación, sin manipularlas para evitar daños, y a las 24 horas se realizó el recambio.

Para determinar la presencia y gravedad de posibles lesiones o anomalías, se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de la integridad intestinal, tanto a nivel macroscópico como microscópico.

-Evaluación macroscópica

En los tratamientos estudiados, en cada una de sus repeticiones, se sacrificaron dos aves el día 21, una hembra y un macho. De manera similar, el día 35 se sacrificó un ave/tratamiento/repetición. Al momento de la necropsia, se evaluó el intestino de los animales macroscópicamente con un estereoscopio marca Olympus modelo SZ-61, cuantificándose las diferentes lesiones que presentaron las distintas secciones (duodeno, yeyuno, íleon, ciego y colon). Seguidamente, se asignó una escala numérica a las lesiones encontradas según el nivel de gravedad: sin lesiones aparentes, leve, moderada y grave; lo cual correspondió a 0, 1, 2, y 3, respectivamente, de acuerdo con la metodología I See Inside (ISI) propuesta por Kraieski et al. (2017).

-Evaluación microscópica

Para el caso de la evaluación microscópica, se evaluaron las lesiones y el desprendimiento de las vellosidades intestinales, congestión, infiltración y hemorragias.

Las muestras colectadas (debidamente identificadas, envasadas y preservadas) fueron enviadas al Laboratorio de Patología Clínica de la Facultad de Veterinaria de la UCV, para ser procesadas mediante la técnica de coloración Hematoxilina-Eosina (Prophet et al., 1995). Estas fueron observadas con microscopio óptico, marca Olympus, modelo CX41, a un objetivo de 10*40X, y cámara incorporada Panasonic de 7,2 megapíxeles modelo Lumix DMC-L27, para fotografiar las muestras procesadas con aumento de 9X y lente de 12,5X.

Con esto, se determinaron lesiones presentes en las vellosidades intestinales en los diferentes tratamientos a los 35 días de edad. Siguiendo la metodología ISI (Kraieski et al.,

2017), se les asignó una escala según el nivel de gravedad: nivel 0 (sin lesiones aparentes), nivel 1 (leve), nivel 2 (moderado) y nivel 3 (grave). En cada lámina, se escogió una sección al azar y representativa del corte histológico y se procedió a registrar las lesiones encontradas.

Análisis estadístico

Se utilizaron 144 pollos en un diseño completamente aleatorizado con tres tratamientos, seis repeticiones y ocho pollos por unidad experimental. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} es la j-ésima unidad experimental asignada al i-ésimo tratamiento

μ es la respuesta global promedio

α es el efecto del i-ésimo tratamiento sobre el promedio global

ϵ es el error experimental

Previo al análisis de varianza, se exploraron las variables de la temperatura corporal y el nivel de hiperventilación con el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2010), a partir de las pruebas de Shapiro Wilk para normalidad de los errores y homogeneidad de varianzas por la prueba de Bartlett. Dentro de este parámetro, se contemplaron las lesiones macroscópicas como hemorragias equimóticas y petequiales, congestión, inflamación y tiflitis. Las lesiones histológicas fueron llevadas a escala numérica y convertidas en variables numéricas continuas para realizarle el respectivo ANOVA.

En el caso del nivel de hiperventilación, la consideración de ambos sexos durante la evaluación condujo al análisis estadístico a través de un arreglo factorial de los tratamientos, considerando los periodos de evaluación como el factor A y al sexo de las aves como el factor B, a fin de distinguir la posible interacción entre ellos. Las comparaciones de promedios se efectuaron a través de la prueba de Tukey a 5% de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones ambientales y bienestar animal

En la Figura 1, se presentan las variaciones de las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrolló el experimento, específicamente la humedad relativa y las temperaturas del ambiente, de la cama y del agua de bebida durante tres periodos de crecimiento y desarrollo de pollos de engorde sometidos a los tratamientos. En el día 21 se registró la temperatura ambiental más alta, con un valor puntual de 29,15 °C (13:00 horas), el día 28 se registró la más baja con 27,60 °C y para el día 35 se obtuvo una temperatura intermedia entre las ya mencionadas. Dichas variaciones estuvieron relacionadas con las precipitaciones ocurridas en la zona.

De manera similar, se puede observar una correlación directa entre la temperatura ambiental y la del agua de los bebederos, ya que ambas coinciden en sus puntos más altos y bajos. Por ejemplo, la temperatura puntual del agua del bebedero fue de 28,0 °C el día 21 y 26,5 °C el día 28 (Figura 1). Es importante mencionar que, cuando las aves están bajo estrés térmico, suelen aumentar su consumo de agua para disipar calor, pero cuando la temperatura del agua es alta, las aves utilizan otras tácticas.

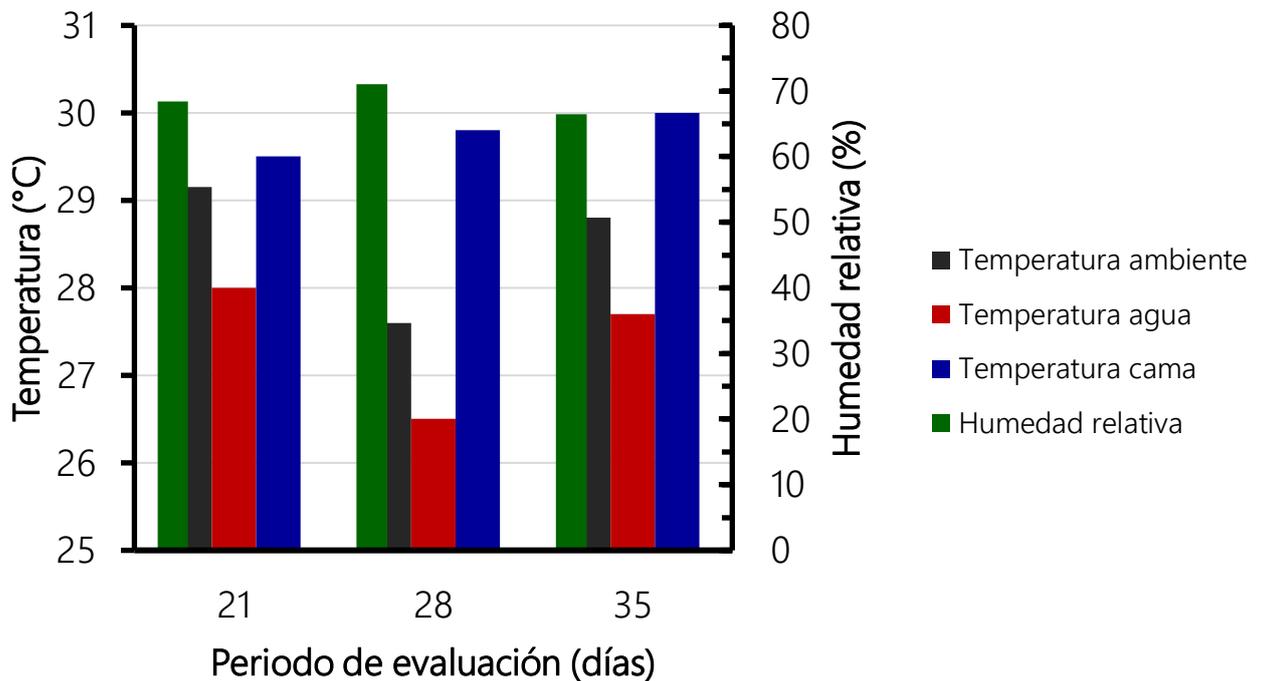


Figura 1. Valores puntuales de temperatura ambiente, del agua, de la cama y humedad relativa durante tres edades en el ambiente de cría de los pollos de engorde sometidos al tratamiento del prebiótico.

Se ha demostrado que la temperatura ambiental puede influir en el desempeño zootécnico de las aves, así como también en el consumo de alimento, el bienestar animal, la productividad y los requisitos de mantenimiento. Así, en países de clima tropical y subtropical, la intensa radiación solar y los altos valores de temperatura y humedad relativa generan condiciones de malestar térmico casi permanentes, concibiendo pérdidas económicas considerables, reducción del rendimiento y aumento de la mortalidad (Souza et al., 2016). Los rangos de temperatura que se han utilizado como confort para las aves en las condiciones de estos países se basan principalmente en datos obtenidos de regiones templadas, por lo que las zonas de confort térmico pueden quedar sin validez debido a cambios en los patrones genéticos, nutrición y manejo ambiental, entre otros factores (Cassuce et al., 2013; Menegali et al., 2013).

A pesar de que no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos, se observó un aumento de la temperatura de la cama a lo largo del período de evaluación, pasando de 29,5 °C el día 21 a 29,8 °C el día 28 y finalmente a 30,0 °C el día 35. Zamora-Sanabria et al. (2022) señalaron que la calidez de la cama está influenciada por factores ambientales como la temperatura y la humedad relativa, que se mantuvieron relativamente altas durante el estudio.

En el caso de la humedad relativa (HR), los valores fluctuaron entre 66,5 y 71%; el promedio más alto se registró el día 28 del experimento y el valor más bajo a los 35 días. Las mencionadas magnitudes presentan un comportamiento normal en horas del día, observándose la influencia de la temperatura ambiental sobre la humedad relativa, las cuales siguen tendencias inversamente proporcionales; es decir, a menor temperatura, mayor humedad relativa. Los resultados generales, con respecto a la humedad relativa, estuvieron cerca del límite aceptable del 70% recomendado por DEFRA (2018).

La ventilación puede ayudar a eliminar la humedad y el calor, promoviendo la renovación del aire, con lo cual se contribuye al control de la concentración de gases que emanan de los desechos en las instalaciones (Teles-Junior et al., 2020). Zamora-Sanabria et al. (2022) reportaron altas temperaturas en el techo y la cama de instalaciones comerciales. Además, enfatizaron las dificultades para el control de la temperatura ambiental y de la humedad relativa bajo condiciones de climas tropicales, especialmente en galpones con ventilación natural que carecen de material aislante y que presentan poco control del intercambio de aire. La ventilación y la calidad del aire se reconocen como factores clave para el bienestar animal (Baracho et al., 2018).

Variables fisiológicas

Temperatura corporal (TC)

En la Figura 2, se muestra el comportamiento de la temperatura corporal en tres periodos de evaluación. Para el día 21, las aves pertenecientes al tratamiento T1 presentaron temperatura promedio de 41,37 °C, siendo 0,3 °C más elevado a los valores registrados por las aves de los tratamientos T2 y T3, quienes presentaron promedio de TC estadísticamente inferiores ($p \leq 0.05$) a 41,05 y 41,13 °C, respectivamente. Para el día 28 no se detectaron

diferencias entre los tratamientos, registrándose temperaturas corporales entre 41,15 y 41,20 °C; mientras que, para el día 35, sí se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el T1 (registrando TC promedio de 41,47 °C) con respecto a los tratamientos con aplicación del prebiótico, donde se obtuvo un TC promedio de 41,16 para el T2 y 41,18 °C para el T3.

En ninguno de los periodos evaluados hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos con el uso de prebiótico. Los resultados obtenidos para la temperatura corporal muestran la tendencia a mantener valores más bajos en los tratamientos con prebiótico que en el tratamiento testigo, lo cual sugiere que el prebiótico funciona bien para controlar la temperatura corporal de los pollos en condiciones ambientales extremas.

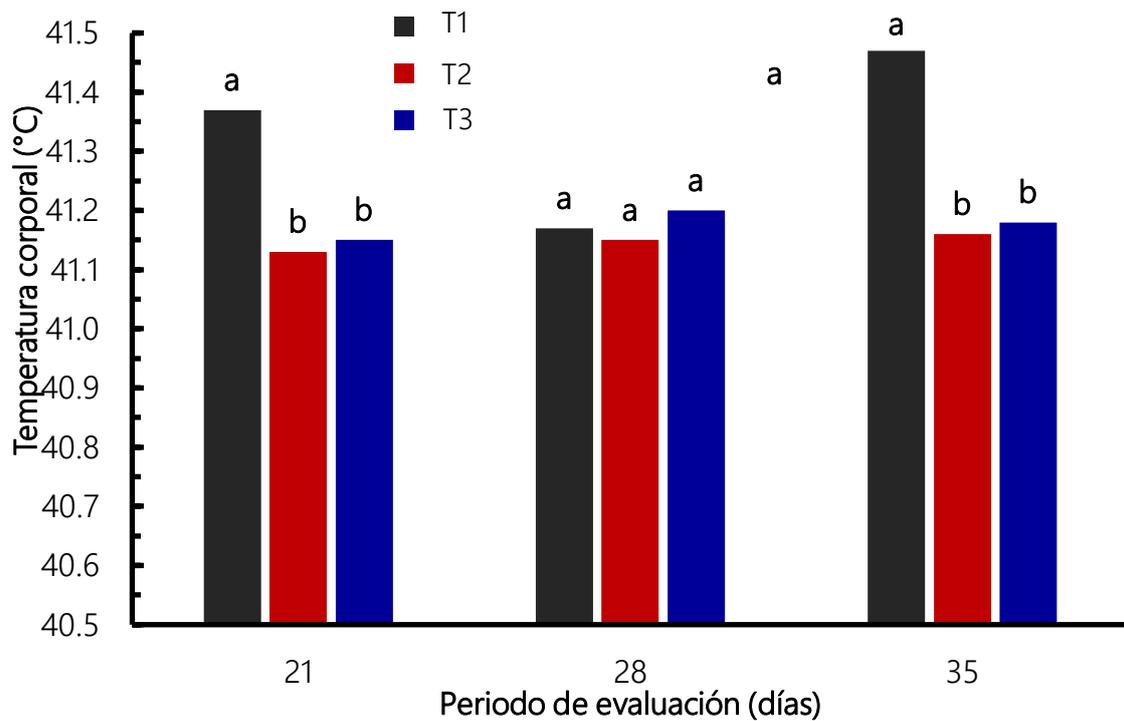


Figura 2. Comportamiento de la temperatura corporal promedio (°C) de pollos de engorde sometidos a diferentes tratamientos en tres periodos de crecimiento [barras con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí ($p \geq 0,05$)].

Los pollos de engorde son animales homeotérmicos porque tienen la capacidad de regular y mantener su propia temperatura corporal interna en un amplio rango de temperaturas ambientales (Mascarenhas et al., 2020). Por lo general, la temperatura corporal interna es más alta que la temperatura de la piel en los animales, ya que la mayor parte de la producción de calor metabólico tiene lugar en el centro, siendo la parte más caliente la que se ubica alrededor del hígado en los vertebrados, a partir del cual existe un gradiente de calor hacia las partes exteriores (Abioja et al., 2016).

La temperatura corporal de los pollos de engorde adultos es de aproximadamente 41,1 °C, pero, cuando la temperatura y la humedad del aire exceden el rango de confort térmico, la capacidad de disipar el calor se reduce y los animales sufren los efectos del estrés por calor (Saeed et al., 2019; Kikusato y Toyomizu, 2023). La humedad relativa funciona como cofactor, debido a que puede exacerbar los efectos del estrés por calor por la reducción de la evaporación del agua superficial como mecanismo de renovación del aire circundante (Kim et al., 2022).

Pawar et al. (2016) afirman que los genotipos de pollos de engorde modernos han priorizado la actividad metabólica elevada por encima de la tolerancia al calor. Esto se debe a que la disipación de este depende principalmente del jadeo (respiración corta y rápida), que, cuando se produce en exceso, podría inducir alcalosis respiratoria y el aumento del flujo sanguíneo de la piel, hipoxia, deficiencia de energía, daño oxidativo e inflamación intestinal (Varasteh et al., 2015; Kikusato y Toyomizu, 2023).

En concordancia con estos resultados, Ringseis y Eder (2022) sugieren que la modificación de la composición de la microbiota intestinal bajo estrés térmico, mediante la suplementación en dieta con probióticos o prebióticos, inhibió el crecimiento de patógenos oportunistas. A partir de esto, se estimuló la ingesta de alimento y se alivió el deterioro de la función intestinal y el rendimiento animal inducido por el estrés por calor. Además, señalan que los prebióticos pueden mejorar la función de la barrera intestinal, llevando nutrientes necesarios y eliminando endotoxinas en el eje intestino-hígado, lo cual contribuye a la homeostasis y a la integridad intestinal. Por otra parte, Varasteh et al. (2015)

reportaron que el uso de prebióticos en dieta disminuyó fuertemente la expresión de genes involucrados en la respuesta estrés/tolerancia, disminuyendo así, procesos inflamatorios a nivel intestinal.

En el caso del T3, se presume que este contribuyó a disminuir la presión de inóculo de patógenos que pudieran ser ingeridos a través del picoteo que realizan los animales en la cama. Investigaciones de Dunlop et al. (2016) y de Wang et al. (2016) han demostrado que los patógenos que proliferan en la cama de las aves pueden transmitirse dentro de la cadena alimentaria, e incluso pueden llegar hasta el consumidor; como es el caso de *S. enteritidis* aislada de humanos con gastroenteritis (Fandiño y Verjan, 2019). En tal sentido, Ospina-Barrero et al. (2021) encontraron que la mayoría de las granjas realizan algún tipo de tratamiento de la cama, dentro de los cuales se incluye el uso de bactericidas, antifúngicos, cal y calor como procedimientos para reducir el crecimiento de patógenos y minimizar los riesgos de infección.

Por su parte, Song et al. (2013) reportaron que el uso de prebióticos en la alimentación mejoró el rendimiento del crecimiento y la morfología intestinal; disminuyó la permeabilidad paracelular yeyunal y los recuentos cecales viables de *E. coli* y *Clostridium*; y aumentó los recuentos cecales viables de *Lactobacillus* en los pollos de engorde sometidos a estrés calórico en comparación con los pollos de engorde de control no suplementados. Por lo tanto, se representaron mejoras parciales que compensaron los efectos adversos del estrés por calor en pollos de engorde al mejorar la función del eje intestino-hígado.

Una revisión de Ringseis y Eder (2022) reportó que en la mayoría de los estudios disponibles en pollos de engorde sometidos a estrés térmico se encontraron alteraciones de la microbiota intestinal y mejoras de la función de la barrera intestinal inducidas por la alimentación con probióticos, prebióticos o simbióticos. Similarmente, dichas respuestas fueron acompañadas por incrementos en la productividad (aumento de peso corporal, mayor consumo de alimento, mejor tasa de conversión), salud y/o bienestar en comparación con pollos de engorde no suplementados expuestos a estrés por calor.

Nivel de hiperventilación (NH)

Tanto para la evaluación realizada el día 21 como la del día 35 del ciclo de vida de las aves, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Mientras que, para la evaluación del día 28, el T3 presentó mayores niveles de hiperventilación estadísticamente superiores ($p \leq 0.05$) a los del tratamiento testigo sin aplicación (Figura 3).

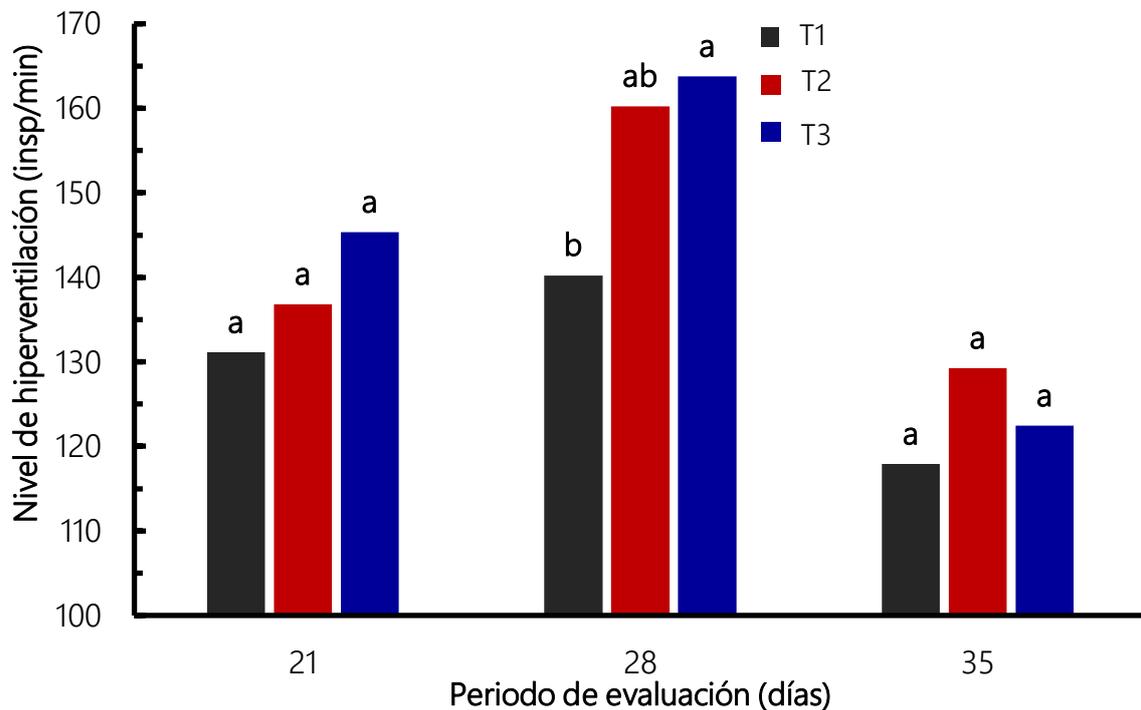


Figura 3. Comportamiento del nivel de hiperventilación promedio de pollos de engorde sometidos a tratamientos prebióticos en tres periodos de crecimiento [barras con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí ($p \geq 0.05$)].

Por otro lado, en lo referente a la interacción periodo/sexo, tanto para el día 28 como el día 35, se evidencian diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre machos y hembras (Figura 4). En ambos casos, las hembras superan a los machos, ya que, para el día 28, el nivel de hiperventilación fue de $139,73 \pm 26$ y $162,83 \pm 30$ insp/min para machos

y hembras, respectivamente. Para el día 35, se registró $111,12 \pm 30$ y $133,03 \pm 19$ insp/min para machos y hembras, respectivamente. A los 21 días del ciclo de vida de las aves no se registraron diferencias entre los sexos (Figura 4).

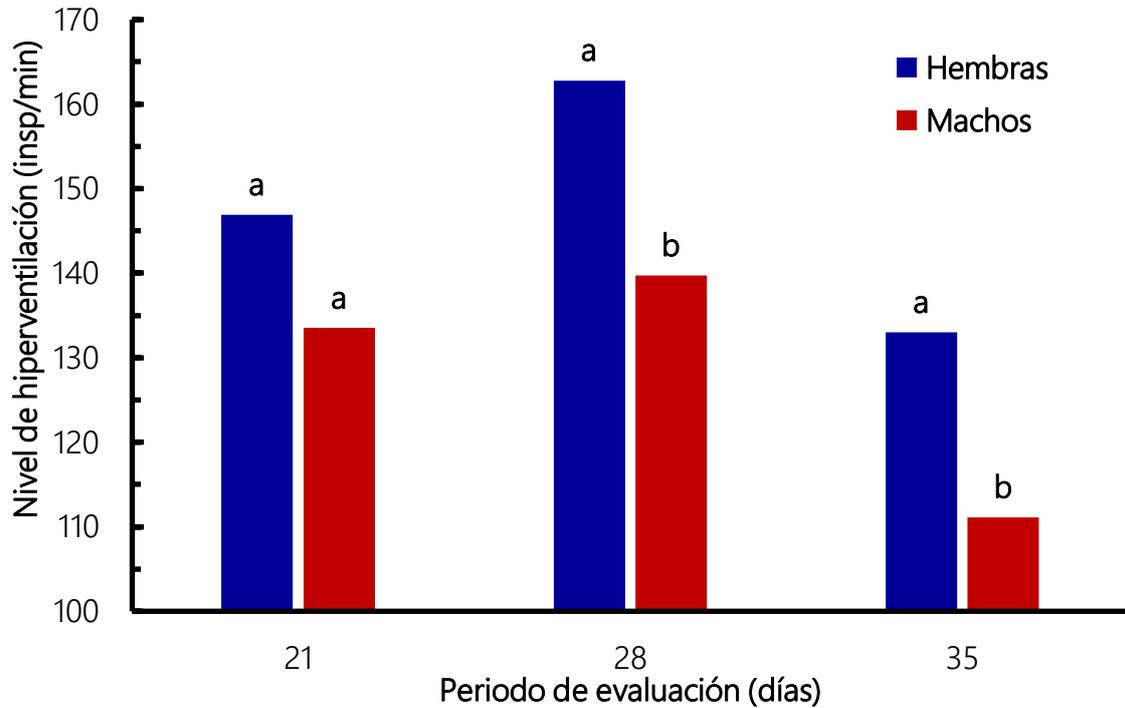


Figura 4. Comportamiento del nivel de hiperventilación promedio de pollos de engorde según sexo sometidos a tratamientos prebióticos en tres periodos de crecimiento [barras con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí ($p \geq 0.05$)].

La hiperventilación es el método más importante para disipar el calor interno, lo que se logra mediante la evaporación de la humedad de la cavidad bucal y el tracto respiratorio superior, con lo cual se liberan aproximadamente 540 calorías por gramo de agua perdida por los pulmones. Si las condiciones de calor persisten, el jadeo excesivo hace que las aves expulsen grandes cantidades de dióxido de carbono, lo que lleva a alcalosis metabólica; una alteración grave del equilibrio ácido-base que eventualmente conduce a la muerte causada por hipoxia (Felver-Gant et al., 2012).

Farfán-López et al. (2013) reportaron niveles de hiperventilación entre 129 y 143 insp/min y

concluyeron que la incorporación de minerales tanto en el alimento como en el agua no tuvo un impacto marcado sobre esa variable. Esto concuerda con los estudios de Rojas et al. (2008), donde se obtuvieron valores que oscilaron entre 140 y 200 insp/min en pollos criados bajo condiciones de estrés calórico crónico.

Integridad intestinal

Durante la investigación, al realizar la evaluación macroscópica del tracto intestinal en sus diferentes secciones (duodeno, yeyuno, íleon, colon y ciego) a los diferentes días de vida de las aves, las lesiones comúnmente visualizadas fueron hemorragias equimóticas, hemorragias petequiales, congestión e inflamación.

Se observa en la Figura 5 que las hemorragias equimóticas se presentaron en el duodeno en todos los tratamientos, no arrojando diferencias estadísticas con respecto al T1. A nivel del yeyuno, las lesiones se presentaron únicamente en tratamiento testigo, sin mostrar diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos.

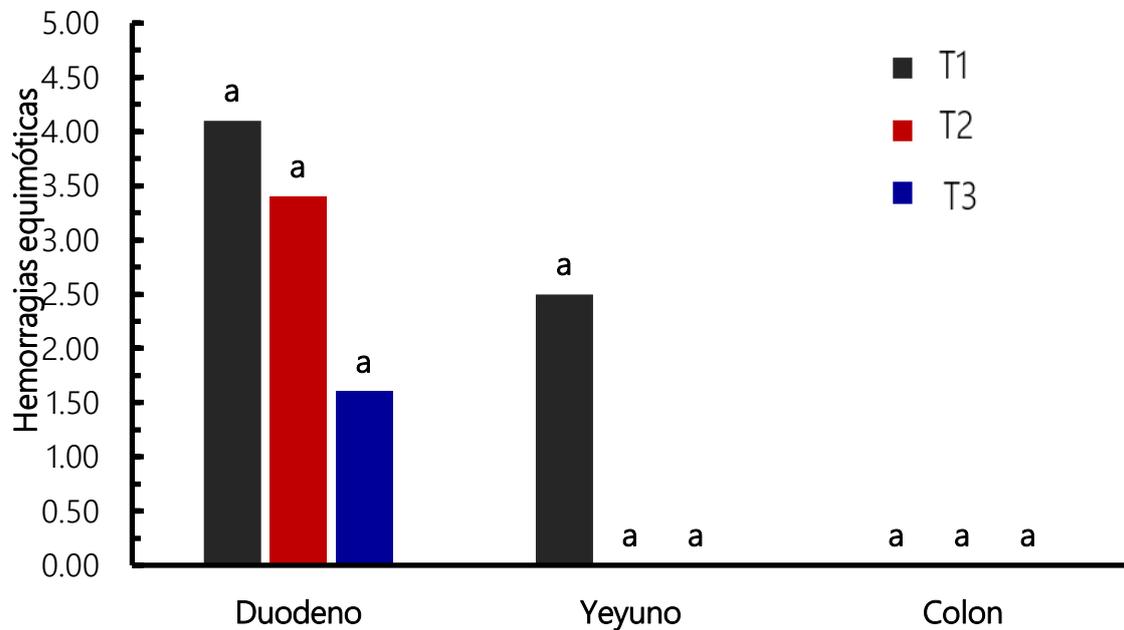


Figura 5 Presencia de hemorragia equimótica en diferentes secciones del tracto intestinal de pollos de engorde sometidos a tratamientos prebióticos [barras con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí ($p \geq 0.05$)].

En el caso de las hemorragias petequiales, se observa en el Figura 5 que solo se encontró en el T1 y en el T2. Además, solo fueron apreciadas en el duodeno, sin obtenerse diferencias significativas entre los tratamientos.

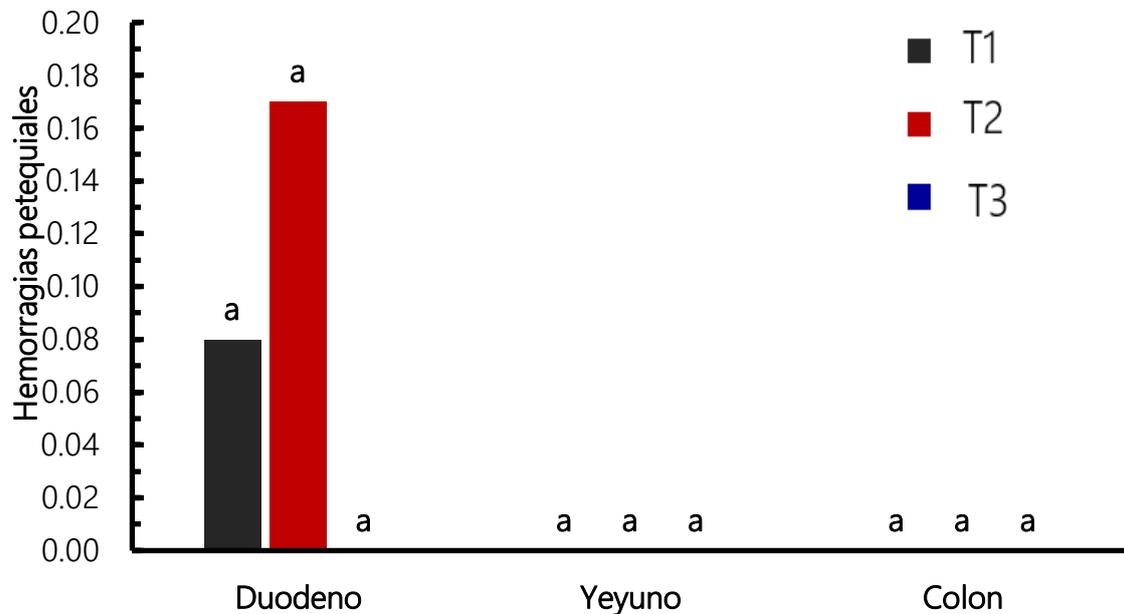


Figura 6. Presencia de hemorragias petequiales en diferentes secciones del tracto intestinal de pollos de engorde sometidos a tratamientos prebióticos [barras con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí ($p \geq 0.05$)].

La congestión se visualizó exclusivamente a nivel del duodeno en el T2 (Figura 7). Al igual que en los anteriores casos, tampoco hubo diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

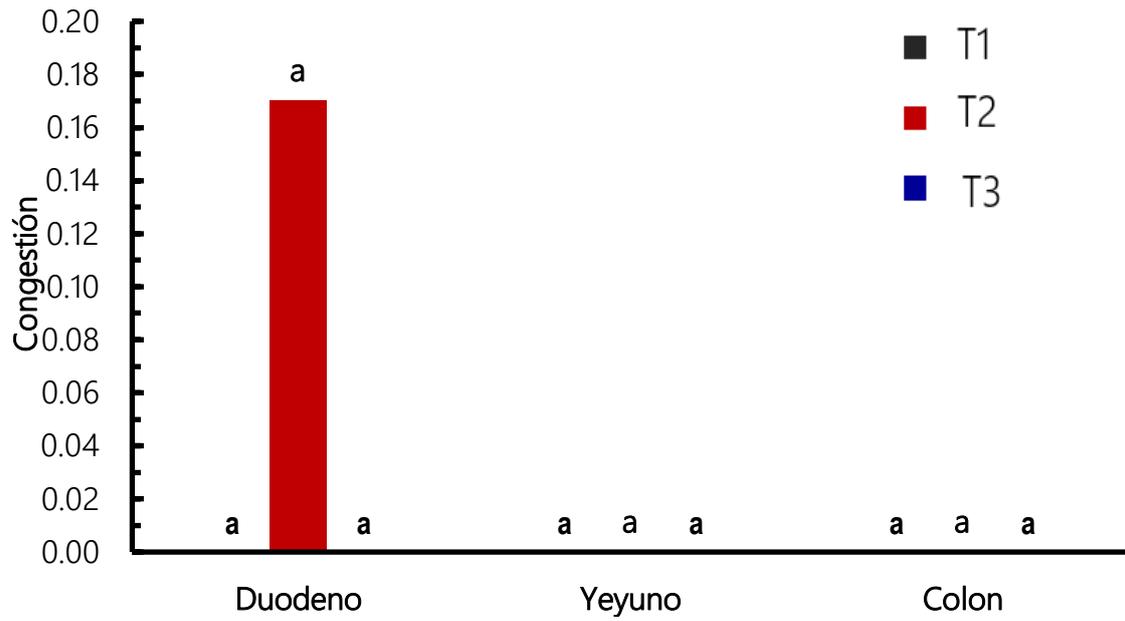


Figura 7. Presencia de congestión en diferentes secciones del tracto intestinal de pollos de engorde sometidos a tratamientos prebióticos [barras con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí ($p \geq 0.05$)].

De acuerdo con los hallazgos obtenidos, la inflamación solo se detectó a nivel de colon en el tratamiento con la aplicación del T2 (Figura 8); sin embargo, no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos.

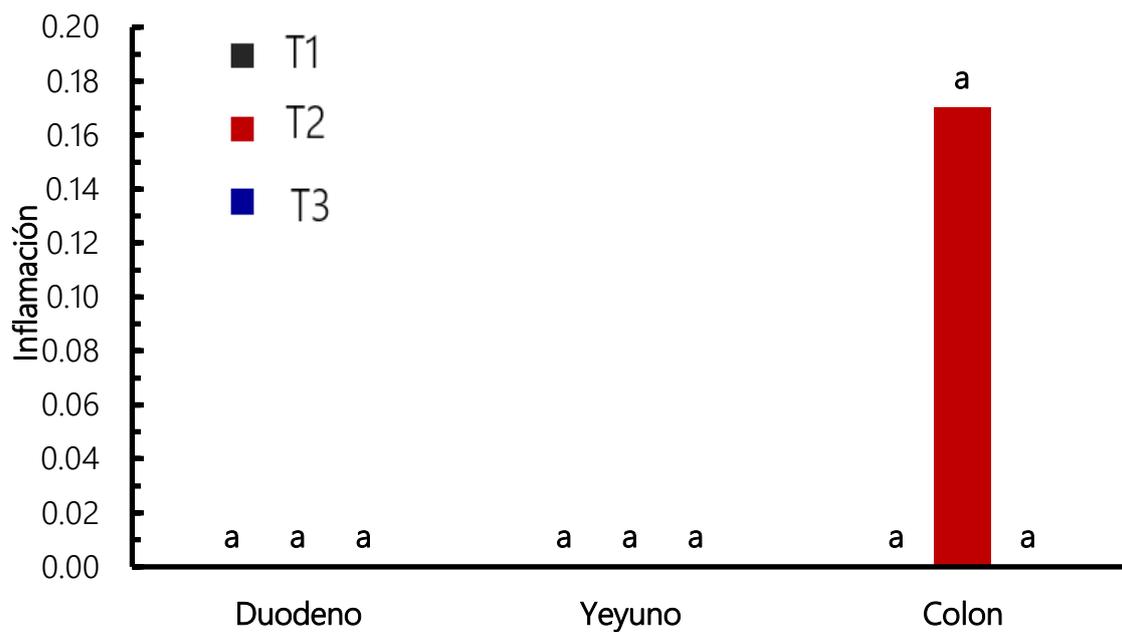


Figura 8. Presencia de inflamación en diferentes secciones del tracto intestinal de pollos de engorde sometidos a tratamientos prebióticos [barras con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí ($p \geq 0.05$)].

En general, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos para las lesiones macroscópicas observadas. La incidencia de las lesiones fue baja y, en los casos donde se presentó, fueron únicos y con nivel de gravedad mínimo (leve o moderado), lo cual podría asociarse al fortalecimiento de sistema inmune inducido por el uso de prebióticos. En tal sentido, Ducatelle et al. (2015) reportaron que los prebióticos mejoran las defensas del huésped y reducen la mortalidad inducida por patógenos en las aves.

Por su parte, Pourabedin y Zhao (2015) aseguran que la capacidad de los prebióticos para aumentar la cantidad de bacterias ácido-lácticas en el intestino puede ayudar en la exclusión competitiva de patógenos del tracto gastrointestinal de las aves. A su vez, el aumento de la acidez intestinal causado por los prebióticos puede ayudar a reducir las infecciones en el intestino de los pollos. Liu et al. (2015) afirman que los prebióticos estimulan las bacterias intestinales que se han aclimatado al entorno del tracto gastrointestinal. Mientras que Hedin et al. (2007) reportaron alteraciones gastrointestinales que incluyen alteraciones de la microbiota del colon, aumento de la longitud del intestino y mejoras en el metabolismo intestinal en humanos.

En relación con la evaluación microscópica, es importante destacar que en las muestras procesadas pertenecientes al día 21 de vida de las aves, no se encontró ningún tipo de lesión importante al ser observadas microscópicamente en los distintos tratamientos, es por esta razón que no se reflejan resultados en este sentido. En la figura 9 se muestran los resultados obtenidos de las evaluaciones microscópicas realizadas a los cortes histológicos de tejido intestinal (duodeno) de las muestras colectadas para el día 35 de edad de las aves.

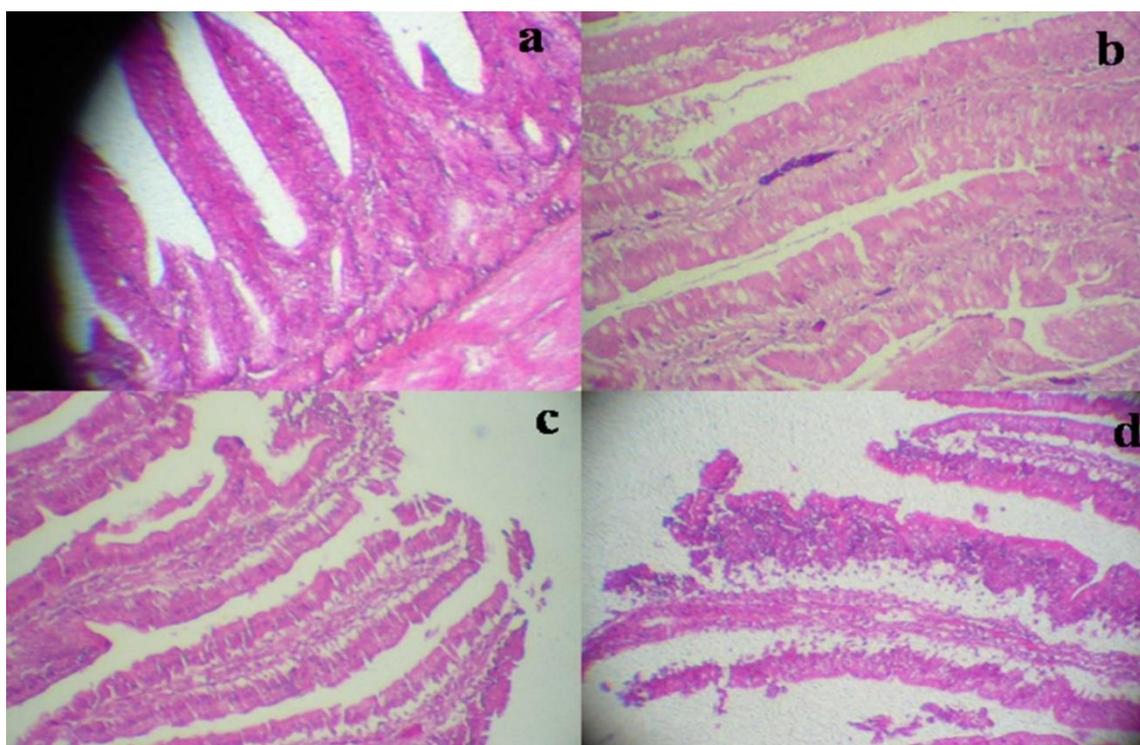


Figura 9. Cortes histológicos de vellosidades intestinales en el duodeno de pollos de engorde: (a) vellosidades intestinales normales, sin lesiones aparentes para el T2; (b) hemorragia en vellosidades para el T1; (c) inflamación y congestión de vellosidades intestinales para el T2; (d) vellosidades intestinales con desprendimiento de la porción apical e infiltrado inflamatorio para el T2.

Estadísticamente, el T1 presentó el mayor número y nivel de gravedad ($p \leq 0.05$) para el desprendimiento de la vellosidad intestinal. De manera similar, el T1 mostró los niveles de gravedad más altos con diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) para lesiones de inflamación de la vellosidad intestinal. Por otra parte, los tratamientos con aplicación del prebiótico no mostraron evidencia alguna de esta lesión (Figura 10).

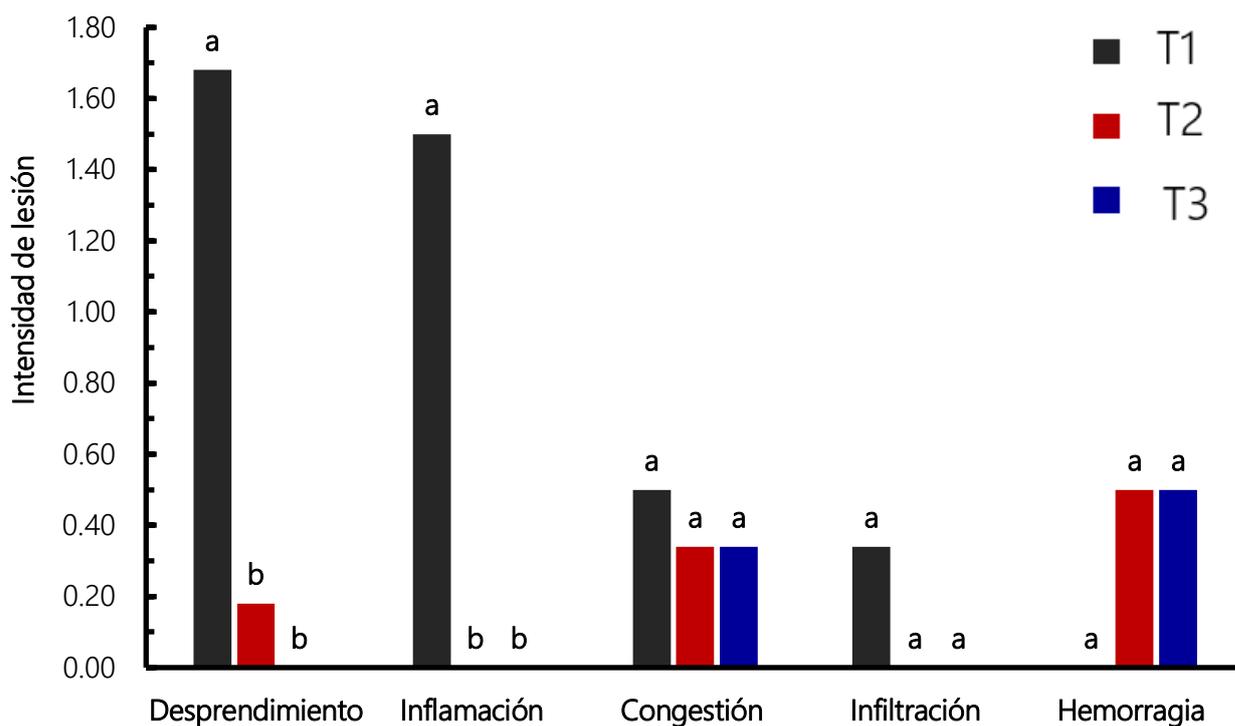


Figura 10. Promedio del nivel de gravedad de lesiones observadas en las vellosidades duodenales evaluadas el día 35 de vida de las aves.

En lo referente a las lesiones de congestión, infiltrado y hemorragia, no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos, a pesar de que el T1 presentó los niveles más altos de gravedad de lesión para congestión e infiltrado inflamatorio. En contraposición, los tratamientos con la aplicación del prebiótico los presentaron para hemorragia. Se puede observar una clara respuesta de la salud intestinal de las aves al reducir significativamente, en algunos casos, las lesiones.

La barrera física intestinal sirve como primera línea de defensa contra el ambiente externo, impidiendo que macromoléculas, como bacterias y toxinas, entren a la circulación en la luz intestinal (Wang et al., 2019). La proliferación de bacterias patógenas en el intestino de las aves a menudo provoca inflamación intestinal, lo que disminuye las tasas de producción y aumenta la mortalidad; además de poner en riesgo la contaminación de los productos avícolas (Baurhoo et al., 2009).

He et al. (2023) demostraron que diferentes tratamientos con prebióticos y probióticos combinados aumentaron la altura de las vellosidades, la profundidad de las criptas y el grosor de los músculos en el intestino delgado. Además, promovieron la recuperación post-infección de bacterias con acciones intestinales necrosantes. También se ha demostrado que los prebióticos aumentan la respuesta inmunológica en los pollos, lo que resulta en una eliminación más rápida de la infección. Por ejemplo, los prebióticos pueden interactuar directa o indirectamente con las células inmunitarias intestinales, mediante la colonización preferida de bacterias beneficiosas y metabolitos microbianos (Shehata et al., 2022).

CONSIDERACIONES FINALES

Bajo las condiciones de esta investigación, los pollos de engorde estuvieron sometidos a estrés calórico debido a que la temperatura y humedad relativa ambiental afectaron de manera directa la temperatura de la cama. Los tratamientos con aplicación del prebiótico indujeron menores temperaturas corporales en las aves.

A pesar de no existir diferencias estadísticas, los daños intestinales por hemorragias equimóticas y petequiales, desprendimiento e inflamación de la vellosidad intestinal, congestión e infiltrado fueron más frecuentes; y de mayor gravedad en el T1, específicamente en la sección duodenal. La aplicación del prebiótico únicamente produjo lesiones leves y congestión a nivel del duodeno e inflamación en el colon.

LITERATURA CITADA

Abd El-Hack, M. E., M. T. El-Saadony, H. M. Salem, A. M. El-Tahan, M. M. Soliman, G. B. Youssef, E. Ayman, A. E. Taha, M. S. Soliman, E. A. Ahmed, A. F. El-kott, K.M. Al Syaad y A. A. Swelum. 2022. Alternatives to antibiotics for organic poultry production: types, modes of action and impacts on bird's health and production. *Poultry science*, 101 (4): 101696. doi: 10.1016/j.psj.2022.101696

- Abioja, M. O., M. O. Adekunle, J. A. Abiona, O. G. Sodipe y A. V. Jegede. 2016. Laying performance, survival rate, egg quality and shell characteristics in laying pullets offered honey in drinking water during hot season. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 49 (1-4): 12-19. doi: 10.1515/ats-2016-0002
- Abudabos, A. M., A. H. Alyemni, Y. M. Dafalla y R. U Khan. 2018. The effect of phytogenic on growth traits, blood biochemical and intestinal histology in broiler chickens exposed to *Clostridium perfringens* challenge. *Journal of Applied Animal Research*, 46: 691-695. doi: 10.1080/09712119.2017.1383258
- Aviagen. 2018. Manual de manejo de pollos de engorde Ross. Aviagen, EE. UU. 148 p. <https://bit.ly/3sfNa7T> (Consultado el 20 Jul. 2022).
- Baracho, M. S., I. A Nääs, P. S. Betin y D. J. Moura. 2018. Factors that influence the production, environment, and welfare of broiler chicken: A systematic review. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 20: 617-624. doi: 10.1590/1806-9061-2018-0688
- Baurhoo, B., P. R. Ferket y X. Zhao. 2009. Effects of diets containing different concentrations of mannanoligosaccharide or antibiotics on growth performance, intestinal development, cecal and litter microbial populations, and carcass parameters of broilers. *Poultry Science*, 88 (11): 2262-2272. doi: 10.3382/ps.2008-00562
- Betancourt, L. L., C. J. Ariza y G. Afanador. 2012. Efectos de la suplementación con aceites esenciales de orégano sobre la digestibilidad ileal, histomorfometría intestinal y comportamiento productivo de pollos de engorde. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25 (2): 240-251.
- Cassuce, D., I. Tinôco, F. Baêta, S. Zolnier, P. Cecon y M. Vieira. 2013. Termal confort temperature update for broiler chickens up to 21 days of age. *Engenharia Agrícola*, 33 (1): 28-36. doi: 10.1590/S0100-69162013000100004
- Climate Data. 2023. Datos climáticos mundiales. <https://es.climate-data.org/> (Consultado el 20 Jul. 2023).
- Corona, J. L. 2012. Impacto del estrés calórico en la producción de pollos de engorde de Venezuela. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 13 (6). <https://bit.ly/3QY2uzN>
- Cuellar, J. A. 2022. Dinámica y tendencias actuales del mercado avícola mundial. *Veterinaria Digital*. <https://bit.ly/3QBfRVc> (Consultado el 20 Jul. 2023).

- DEFRA (Department for Environment Food and Rural Affairs). 2018. Code of Practice for the Welfare of Meat Chickens and Meat Breeding Chickens. 47 p. <https://bit.ly/3QzcPlz>
- Di Rienzo, J., F. Casanoves, M. Balzarini, L. González, M. Tablada y C. Robledo. 2010. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar> (Consultado el 30 Jul. 2023).
- Ducatelle, R., V. Eeckhaut, F. Haesebrouck y F. Van Immerseel. 2015. A review on prebiotics and probiotics for the control of disbiosis: present status and future perspectives. *Animal*, 9 (1): 43-48. Doi: 10.1017/S1751731114002584
- Dunlop, M. W., P. J. Blackall y R. M. Stuetz. 2016. Odour emissions from poultry litter—A review litter properties, odour formation and odorant emissions from porous materials. *Journal of environmental management*, 177: 306-319. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.04.009
- Fandiño, L. C. y N. Verjan-García. 2019. A common *Salmonella enteritidis* sequence type from poultry and human gastroenteritis in Ibagué, Colombia. *Biomédica*, 39: 50-62. doi: 10.7705/biomedica.v39i1.4155
- Farfán, C., Y. Oliveros y V. De Basilio. 2010. Efecto de la adición de minerales en agua o en alimento sobre variables productivas y fisiológicas en pollos de engorde bajo estrés calórico. *Zootecnia Tropical*, 28 (3): 363-373.
- Farfán-López, C., M. Rossini, y V. De Basilio. 2013. Efecto de la adición de electrolitos en agua y alimento sobre algunas variables productivas y sanguíneas en pollos de engorde bajo condiciones de estrés calórico. *Zootecnia Tropical*, 31 (3): 225-234.
- Felver-Gant, J. N., L. A. Mack, R. L. Dennis, S. D. Eicher y H. W. Cheng. 2012. Genetic variations alter physiological responses following heat stress in 2 strains of laying hens. *Poultry Science*, 91 (7): 1542-1551. doi: 10.3382/ps.2011-01988
- He, X., G. Ye, S. Xu, X. Chen, X. He y Z. Gong. 2023. Effects of three different probiotics of Tibetan sheep origin and their complex probiotics on intestinal damage, immunity, and immune signaling pathways of mice infected with *Clostridium perfringens* type C. *Frontiers in Microbiology*, 14: 1177232. doi: 10.3389/fmicb.2023.1177232
- Hedin, C., K. Whelan y J. O. Lindsay. 2007. Evidence for the use of probiotics and prebiotics in inflammatory bowel disease: a review of clinical trials. *Proceedings of the Nutrition Society*, 66 (3): 307-315. doi: 10.1017/S0029665107005563

- Kikusato, M. y M. Toyomizu. 2023. Mechanisms underlying the effects of heat stress on intestinal integrity, inflammation, and microbiota in chickens. *The Journal of Poultry Science*, 60 (2): 2023021. doi: 10.2141/jpsa.2023021
- Kim, D. H., Y. K. Lee, S. D. Lee y K. W. Lee. 2022. Impact of relative humidity on the laying performance, egg quality, and physiological stress responses of laying hens exposed to high ambient temperature. *Journal of Thermal Biology*, 103: 103167. doi: 10.1016/j.jtherbio.2021.103167
- Kraieski, A. L., R. M. Hayashi, A. Sanches, G. C. Almeida y E. Santin. 2017. Effect of aflatoxin experimental ingestion and *Eimeria* vaccine challenges on intestinal histopathology and immune cellular dynamic of broilers: applying an Intestinal Health Index. *Poultry Science*, 96 (5), 1078-1087. doi: 10.3382/ps/pew397
- Liu, X., S. Cao y X. Zhang. 2015. Modulation of gut microbiota–brain axis by probiotics, prebiotics, and diet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63 (36): 7885-7895. doi: 10.1021/acs.jafc.5b02404
- Maina, J. N. 2022. Perspectives on the structure and function of the avian respiratory system: Functional efficiency built on structural complexity. *Frontiers in Animal Science*, 3: 851574. doi: 10.3389/fanim.2022.851574
- Mascarenhas, N. M. H., A. N. L. da Costa, M. L. L. Pereira, A. C. A. de Caldas, L. F. Batista y E. L. G. Andrade. 2020. Thermal conditioning in the broiler production: challenges and possibilities. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 6 (2): 52-55. doi: 10.31893/2318-1265jabb.v6n2p52-55
- Menegali, I., I. Tinoco, C. Carvalho, C. Souza y J. Martins. 2013. Comportamento de variáveis climáticas em sistemas de ventilação mínima para produção de pintos de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17 (1): 106-113. doi: 10.1590/S1415-43662013000100015
- Ospina-Barrero, M. A., A. Borsoi, L. Peñuela-Sierra y M. Varon-López. 2021. Cama de aves de corral un factor importante en la seguridad alimentaria. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19 (2): 234-250. doi: 10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1451

- Pareja-Arcila, J. C., I. D. F. Ferreira Tinoco, J. A. Osorio Saraz, K. S. Oliveira Rocha, y M. G. Lima Candido. 2018. Zootechnical and physiological performance of broilers in the final stage of growth subjected to different levels of heat stress. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 71 (2): 8469-8476. doi: 10.15446/rfna.v71n2.71927
- Pawar, S. S., S. Basavaraj, L. V. Dhansing, K. N. Pandurang, K. A. Sahebrao, N. A. Vitthal, B. M. Pandit y B. S. Kumar. 2016. Assessing and mitigating the impact of heat stress in poultry. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 4: 332-341. doi: 10.14737/journal.aavs/2016/4.6.332.341
- Pourabedin, M. y X. Zhao. 2015. Prebiotics and gut microbiota in chickens. *FEMS Microbiology Letters*, 362 (15): fnv122. doi: 10.1093/femsle/fnv122
- Prophet. E. B., B. Mills, L. Arrington y L. H. Sobin. 1995. *Métodos Histotecnológicos: Hematoxilina y Eosina*. Registro de Patología de los Estados Unidos de América, Estados Unidos.
- Ringseis, R. y K. Eder. 2022. Heat stress in pigs and broilers: role of gut dysbiosis in the impairment of the gut-liver axis and restoration of these effects by probiotics, prebiotics and symbiotic. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13 (1): 1-16. doi: 10.1186/s40104-022-00783-3
- Rojas, J. A., S. G. Comerma, T. Chacón, M. Rossini, H. Zerpa, C. Farfán, y V. De Basilio. 2008. Efecto de la adición de minerales en el agua o alimento sobre la frecuencia cardiaca, en pollos de engorde sometidos a estrés calórico crónico y agudo. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 49 (2): 99-111.
- Saeed, M., G. Abbas, M. Alagawany, A. A. Kamboh, M. E. Abd El-Hack, A. F. Khafaga y S. Chao. 2019. Heat stress management in poultry farms: A comprehensive overview. *Journal of Thermal Biology*, 84: 414-425. doi: 10.1016/j.jtherbio.2019.07.025
- Safiullah, N. C., R. U. Khan, S. Naz, M. Ahmad y S. Gul. 2019. Effect of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) and organic selenium on growth dynamics, blood melanodialdehyde and paraoxonase in broilers exposed to heat stress. *Journal of Applied Animal Research*, 47 (1): 212-216. doi: 10.1080/09712119.2019.1608211

- Salem, H. M., A. H. Alqhtani, A. A. Swelum, A. O. Babalghith, S. J. Melebary, S. M. Soliman, K. A. El-Tarabily y M. E. Abd El-Hack. 2022. Heat stress in poultry with particular reference to the role of probiotics in its amelioration: An updated review. *Journal of Thermal Biology*, 108: 103302. doi: 10.1016/j.jtherbio.2022.103302
- Shehata, A. A., S. Yalçın, J. D. Latorre, S. Basiouni, Y. A. Attia, A. Abd El-Wahab, C. Visscher, R. Hesham, H. R. El-Seedi, C. Huber, M. H. Hafez, W. Eisenreich y G. Tellez-Isaias. 2022. Probiotics, prebiotics, and phytogetic substances for optimizing gut health in poultry. *Microorganisms*, 10 (2): 395. doi: 10.3390/microorganisms10020395
- Song, J., L. F. Jiao, K. Xiao, Z. S. Luan, C. H. Hu, B. Shi, y X. A. Zhan. 2013. Cello-oligosaccharide ameliorates heat stress-induced impairment of intestinal microflora, morphology and barrier integrity in broilers. *Animal Feed Science and Technology*, 185 (3-4): 175-181. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2013.08.001
- Souza, M., I. Tinôco, A. Amaral, K. Inoue, L. Barreto, J. H. Savastano, C. Souza y M. Paula. 2016. Thermal comfort zones for starter meat-type quails. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 16 (3): 265-272. doi: 10.1590/1516-635x1603265-272
- TecnoAgua. 2020. Ficha Técnica, BIO OPTIMIZE. Prebiótico - Promotor de la actividad biológica. 4p.
- Teles-Junior, C. G., R. S. Gates, C. D. F. Souza, I. D. F. Tinôco y M. D. O. Vilela. 2020. Characterization of the thermal environment in broiler houses with different climate control systems. *Engenharia Agrícola*, 40: 571-580.
- Varasteh, S., S. Braber, P. Akbari, J. Garssen y J. Fink-Gremmels. 2015. Differences in susceptibility to heat stress along the chicken intestine and the protective effects of galacto-oligosaccharides. *PloS One*, 10 (9): e0138975. doi: 10.1371/journal.pone.0138975
- Wang, L., M. Lilburn, y Z. Yu. 2016. Intestinal microbiota of broiler chickens as affected by litter management regimens. *Frontiers in microbiology*, 7 (593). doi: 10.3389/fmicb.2016.00593
- Wang, Y., X. Yan, W. Zhang, Y. Liu, D. Han, K. Teng y Y. Ma. 2019. *Lactobacillus casei* zhang prevents jejunal epithelial damage to early-weaned piglets induced by *Escherichia coli* K88 via regulation of intestinal mucosal integrity, tight junction proteins and immune factor expression. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29: 863–876. doi: 10.4014/jmb.1903.03054

Welfare Quality Project. 2009. Welfare Quality® Assessment protocol for poultry. <https://bit.ly/3QdwG8b> (Consultado el 20 Jul. 2023).

Zamora-Sanabria, R. M., J. Elizondo-Salazar, M. P. Castañeda-Serrano y J. Camacho-Sandoval. 2022. Indicadores de bienestar en pollos de engorde en la primera semana de vida en Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*, 16 (1): 105-144. doi: 10.15517/nat.v16i1.51746