

Comparación histológica de intestino y músculo en pollos con salmonelosis: efecto de aditivos naturales versus antibióticos

Histological comparison of intestine and muscle in broilers with salmonellosis: effect of natural additives versus antibiotics

Arteaga-Domínguez María del Sagrario Caroline¹, Cruz-Ibarra Mélanie Aurora¹, Sánchez-Álvarez Juan Antonio de Jesús¹, Sánchez-Álvarez Jesús Aurelio², Franco-Robles Elena^{2,3*}

¹ Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Veterinaria y Zootecnia, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato.

² Departamento de Veterinaria y Zootecnia, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato.

³ Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato.

e.franco@ugto.mx

*Autor de correspondencia

Resumen

El uso de aditivos naturales en la avicultura se ha propuesto como alternativa a los antibióticos convencionales, debido al riesgo creciente de resistencia bacteriana. El objetivo de este estudio fue comparar los efectos de la cúrcuma (CU), los fructanos de agave (FA) y su combinación (CO) frente a bacitracina de zinc y colistina (APC), sobre la histología intestinal (duodeno, yeyuno, íleon e intestino grueso) y muscular (pechuga) de pollos con salmonelosis. Se realizaron análisis histológicos en muestras obtenidas previamente de pollos infectados experimentalmente con *Salmonella enteritidis* y tratados con CU, FA, CO o APC. Los resultados mostraron que el grupo APC, se observaron alteraciones en las vellosidades intestinales, inflamación tisular y daño en el músculo pectoral. En contraste, los grupos tratados con FA, CU y especialmente CO favorecieron la preservación de la arquitectura histológica intestinal y muscular, con menor infiltrado inflamatorio. Estos hallazgos evidencian el potencial de los aditivos naturales como alternativas para mejorar la salud intestinal y muscular, la calidad de la carne y contribuir a la reducción del uso de antibióticos en la producción avícola.

Palabras clave: Histología, pollos, intestinos, pechuga, cúrcuma, fructanos.

Abstract

The use of natural feed additives has been proposed as an alternative to conventional antibiotics in poultry production due to the growing risk of bacterial resistance. The objective of this study was to compare the effects of turmeric (CU), agave fructans (FA), and their combination (CO) versus zinc bacitracin and colistin (APC) on the intestinal histology (duodenum, jejunum, ileum, and large intestine) and muscular tissue (breast) of broilers with salmonellosis. Histological analyses were performed on samples previously obtained from broilers experimentally infected with *Salmonella enteritidis* and treated with CU, FA, CO, or APC. Results showed that in the APC group, intestinal villus alterations, tissue inflammation, and pectoral muscle damage were observed. In contrast, treatments with FA, CU, and especially CO, favored the preservation of histological architecture with reduced inflammatory infiltration. These findings highlight the potential of natural additives as alternatives to improve intestinal and muscular health, enhance meat quality, and contribute to reducing antibiotic use in poultry production.

Keywords: Histology, broilers, gut, breast, turmeric, fructans.

Introducción

En la actualidad, la carne de pollo constituye una de las principales fuentes de proteína a nivel mundial. En México, la producción alcanzó 4.992 millones de toneladas en el 2024, con un consumo per cápita fue de 38 kg, lo que posiciona al país como el cuarto mayor consumidor global de carne avícola¹. Sin embargo, garantizar su inocuidad representa un reto constante debido a la presencia de patógenos de relevancia en salud pública. Entre estos, *Salmonella enterica* serovar Enteritidis (*S. Enteritidis*) es uno de los agentes zoonóticos más relevantes, frecuentemente asociado con brotes de salmonelosis en humanos². Este patógeno implica un alto riesgo sanitario como económico, ya que se vincula a pérdidas productivas y a la generación de resistencia bacteriana^{3,4}. Tradicionalmente, el uso profiláctico de antibióticos en la alimentación avícola ha sido una práctica común, no obstante, su aplicación indiscriminada ha favorecido la emergencia de cepas resistentes⁵. En este contexto, el intestino de las aves, particularmente el íleon y el intestino grueso, desempeña una función central en la absorción de nutrientes, la homeostasis y la defensa inmune. Estas regiones son también sitios habituales de colonización por *S. Enteritidis*, cuya adherencia a las células epiteliales altera la absorción y provoca inflamación, con manifestaciones histopatológicas como edema mucoso, atrofia y fusión de vellosidades, infiltrados inflamatorios, necrosis focal y proliferación linfoides^{6,7}.

Desde el punto de vista morfológico, el duodeno aviar presenta una mucosa con vellosidades de diversas formas y criptas ubicadas intercaladas; además, puede exhibir vellosidades ramificadas en forma de "T" o con puentes anastomóticos, carece de muscularis mucosae y su submucosa es poco distinguible⁸. El íleon muestra las cuatro tunicas clásicas (mucosa, submucosa, muscular y serosa), con vellosidades digitiformes recubiertas por epitelio columnar simple (enterocitos, células caliciformes, endocrinas y Paneth), junto con abundantes nódulos linfoides y placas de Peyer⁹. Estudios comparativos han reportado variaciones en la morfología de las vellosidades, la proporción de folículos linfoides y la composición de la muscularis externa según la dieta y la especie aviar¹⁰. El intestino grueso, conformado por ciegos y colon, carece de vellosidades, pero presenta criptas profundas y abundantes agregados linfoides, adaptados a la absorción de agua y fermentación microbiana¹¹.

Más allá del tracto intestinal, *S. Enteritidis* también afecta el músculo pectoral mayor, reduciendo su crecimiento, la capilarización y alterando los contenidos de ADN, ARN y enzimas metabólicas¹². Ante este panorama, la suplementación de aditivos alimentarios como probióticos y prebióticos se han utilizado en la actualidad como una estrategia para mitigar la carga de salmonela en las aves¹³. En particular, los prebióticos favorecen el desarrollo de la microbiota benéfica y por ende, la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), reduciendo la colonización de patógenos y mejorando la calidad e inocuidad los productos avícolas^{13,14}. Además, han mostrado capacidad de atenuar lesiones musculares y favorecer la integridad intestinal en pollos infectados¹⁵⁻¹⁷.

La evaluación histológica constituye una herramienta clave para caracterizar las alteraciones estructurales y funcionales inducidas por *S. Enteritidis*. Mediante técnicas de tinción como hematoxilina-eosina (H&E), es posible identificar lesiones características, incluyendo alteraciones en la arquitectura de vellosidades, infiltrados leucocitarios y necrosis focal¹⁸. Por lo anterior, el objetivo de este estudio determinar el efecto de antimicrobianos naturales frente a antibióticos convencionales sobre la histología e integridad tisular del duodeno, yeyuno, íleon e intestino grueso y pechuga de pollos infectados con *S. Enteritidis* mediante análisis histológico.

Materiales y métodos

Las muestras analizadas en este estudio fueron obtenidas previamente en un ensayo *in vivo*, en el que se infectaron pollos con *Salmonella enteritidis* ATCC-13076 y se les administraron tratamientos con fructanos de agave y/o cúrcuma como antimicrobianos naturales. Los grupos experimentales fueron los siguientes: CN (control negativo, sin infección), CP (control positivo, infectado sin tratamiento), APC (antibiótico promotor de crecimiento; COLIZIN 0.05%), FA (fructanos de agave al 4%), CU (cúrcuma al 0.2%) y CO (FA+CU)¹⁹. El estudio original contó con la aprobación del Comité de Ética para la Investigación de la Universidad de Guanajuato (CEPIUG-P43-2022). En el presente trabajo se utilizaron únicamente las muestras de tejido colectadas y fijadas previamente y almacenadas en el Laboratorio de Diagnóstico Clínico del Departamento de Veterinaria y Zootecnia de la División de Ciencias de la Vida del Campus Irapuato-Salamanca de la Universidad de Guanajuato. Las muestras de pechuga, duodeno, yeyuno, íleon e intestino grueso se sometieron a procesamiento histológico convencional, que incluyó las etapas de fijación, deshidratación,

aclaramiento, inclusión en parafina, corte, montaje, desparafinado, hidratación, tinción y montaje final. en fijación nuestro laboratorio. deshidratación. La observación microscópica se realizó a 10X y 40X utilizando un microscopio óptico un Velab con cámara integrada de 3.0 MP. Las micrografías se analizaron mediante el software ISCapture V3.6.6 (Fuzhou Xintu Photonics Co., Ltd. China).

Para la histología de duodeno, yeyuno, íleon e intestino grueso, los tejidos fueron fijados en formol al 10% (10:1). Posteriormente se deshidrataron en gradientes crecientes de etanol, se aclararon en xilol y se incluyeron en parafina. Las secciones de 5µm de espesor se obtuvieron mediante microtomo y se tiñeron con hematoxilina-eosina (H&E) para su evaluación histológica (Figura 1 y 2).

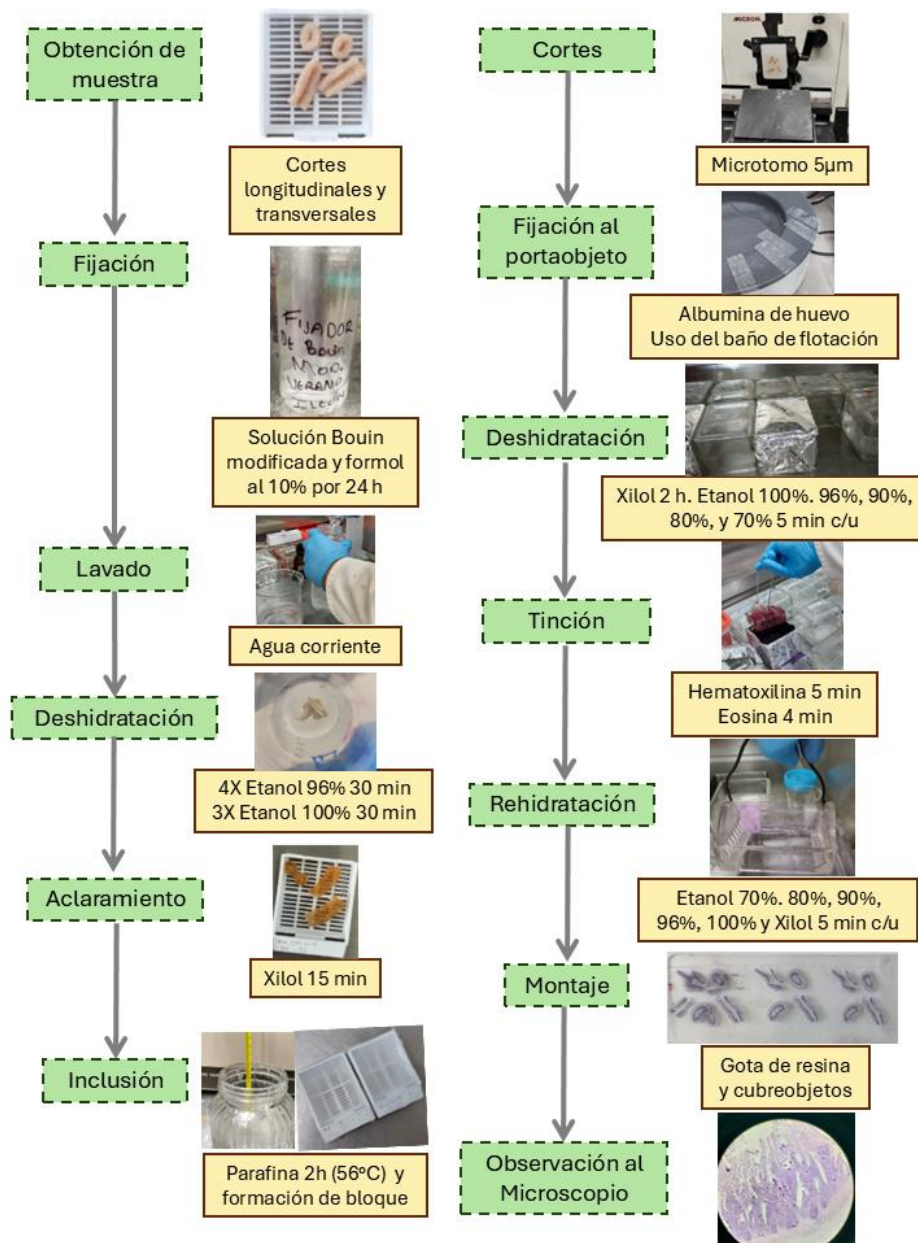


Figura 1. Técnica histológica de duodeno y yeyuno de pollos infectados con *Salmonella enteritidis* y tratados con ingredientes funcionales. Se muestra el esquema general de fijación, deshidratación, inclusión en parafina, corte histológico de 5 µm y tinción con hematoxilina-eosina (H&E).

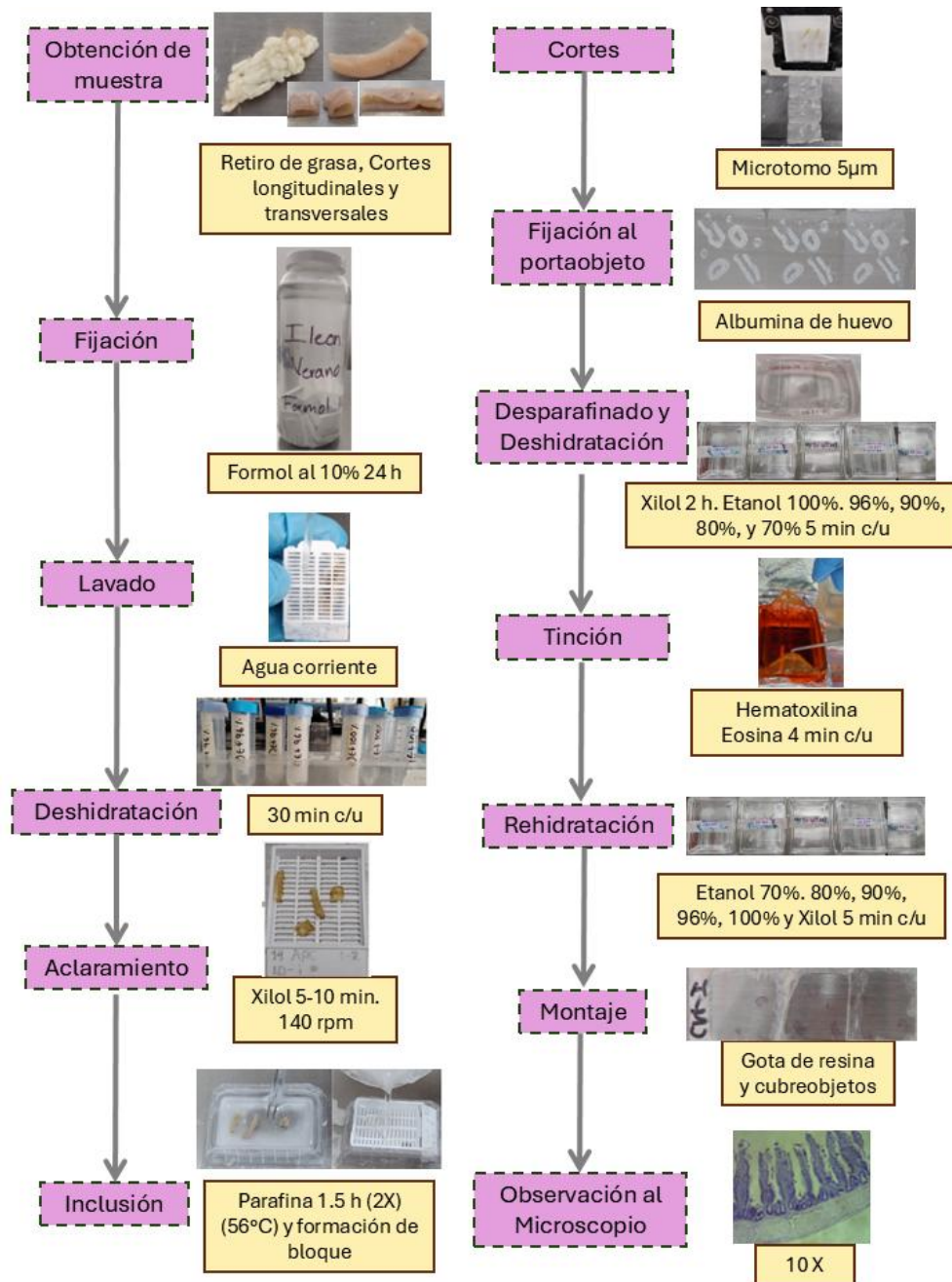


Figura 2. Técnica histológica de íleon e intestino grueso de pollo. Los tejidos fueron fijados en formalina al 10%, deshidratados, aclarados, incluidos en parafina y teñidos con H&E para su evaluación histológica general.

En el caso del músculo pectoral mayor, se recolectaron secciones transversales (~0.5 cm) de la región craneolateral. Las muestras se fijaron en solución de Bouin modificada (50 mL etanol absoluto, 5 mL ácido acético, 45 mL agua destilada), posteriormente se lavaron con agua corriente y se mantuvieron en formol al 10% durante 24 h. La deshidratación se realizó en concentraciones crecientes de etanol (70 %, 80 %, 96 %), cada una por 15 minutos, seguido de dos inmersiones en etanol absoluto por 10 minutos cada una. El aclaramiento se efectuó con xilol, seguido de inclusión en parafina y moldeado. Se realizaron cortes semiseriados de 5 µm de espesor, los cuales se tiñeron con hematoxilina y eosina (H&E) para su evaluación histológica y análisis del daño tisular mediante microscopía óptica (Figura 3).

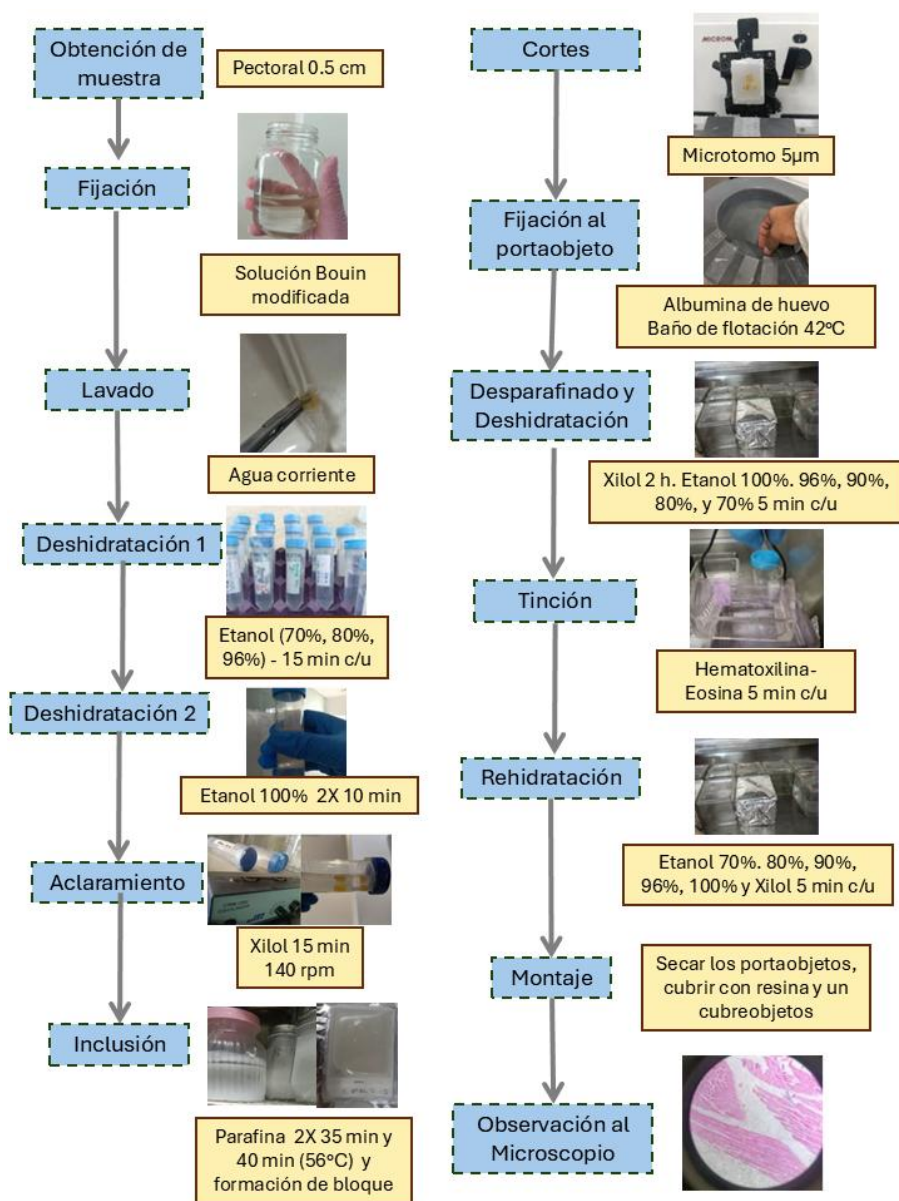


Figura 3. Técnica histológica de músculo pectoral (pechuga) de pollo. Se muestran las etapas de fijación en solución de Bouin modificada, deshidratación en gradiente de etanol, inclusión en parafina y corte de 5 µm teñido con H&E para el análisis histológico.

Resultados

En la figura 4, se observan las micrografías de duodeno con los diferentes tratamientos. El duodeno del grupo de CN presentó vellosidades alargadas y delgadas, recubiertas por epitelio cilíndrico simple sin evidencia de daño estructural. Las criptas se observaron bien delimitadas y, como es característico de esta región, no se identificaron glándulas de Brunner. En la mucosa se reconocieron células caliciformes y enterocitos, así como algunas células de Paneth. La lámina propia mostró linfocitos aislados y otras células inmunes en baja proporción, sin indicios de inflamación. En contraste, el grupo control positivo (CP) mostró vellosidades acortadas e irregulares, con pérdida parcial del epitelio y evidencia de necrosis focal. La lámina propia presentó infiltrado inflamatorio abundante, compuesto principalmente por linfocitos y células plasmáticas. El grupo APC, exhibió vellosidades fusionadas y distorsionadas con epitelio erosionado y criptas dilatadas. La lámina propia estuvo infiltrada por células inflamatorias y se observó edema en la submucosa. Los

tratamientos con fructanos de agave (FA) y cúrcuma (CU) evidenciaron una mejor preservación de la arquitectura duodenal. En el grupo FA, la arquitectura histológica se conservó en gran medida, con criptas organizadas, epitelio íntegro y una lámina propia con infiltrado linfocitario moderado, pero sin cambios degenerativos marcados. En el grupo CU, aunque algunas vellosidades aparecieron acortadas y engrosadas, el epitelio mostró menor daño y la lámina propia presentó un infiltrado inflamatorio moderado. El probiótico (CO) fue el tratamiento con los mejores resultados, mostrando vellosidades uniformes, criptas bien formadas, epitelio continuo y mínima inflamación en la lámina propia.

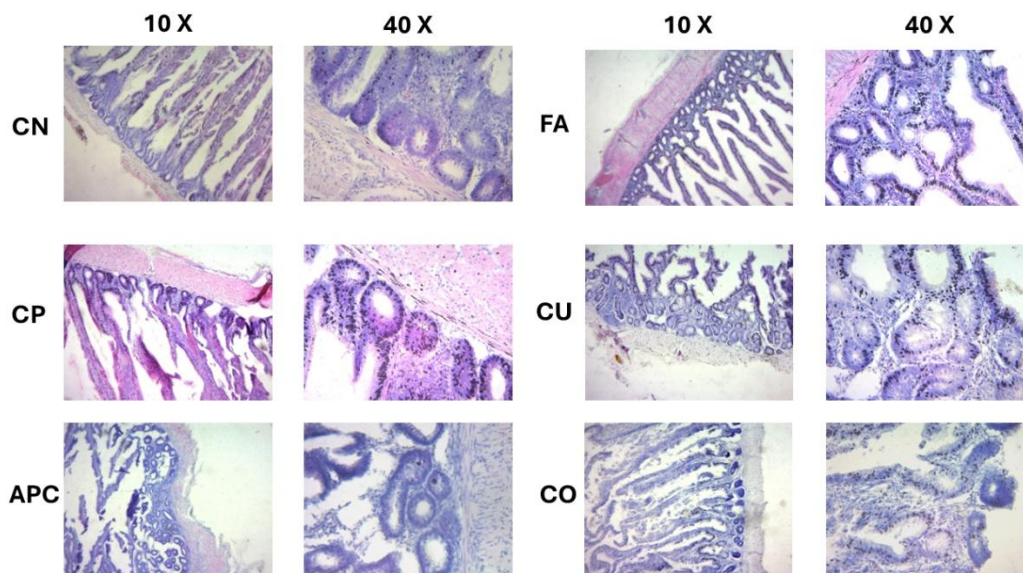


Figura 4. Micrografías histológicas del duodeno de pollo (10x y 40x) con distintos tratamientos. CN: Control negativo; CP: control positivo; APC: antibiótico promotor de crecimiento, COLIZIN; FA: fructanos de agave; CU: cúrcuma; CO: probiótico.

En el yeyuno (Figura 5), el grupo CN presentó vellosidades largas e irregulares, con epitelio cilíndrico simple íntegro y criptas bien definidas, mientras que el CP evidenció atrofia de vellosidades, pérdida focal de epitelio e infiltrado inflamatorio abundante. En el grupo APC, las vellosidades se observaron acortadas y fusionadas con criptas dilatadas y edema en la submucosa. Los grupos tratados con CU y FA mostraron vellosidades más definidas y epitelio conservado, con infiltrado inflamatorio leve a moderado en la lámina propia. El grupo CO presentó la mayor preservación de la arquitectura yeyunal, con mínima inflamación y estructura comparable al CN.

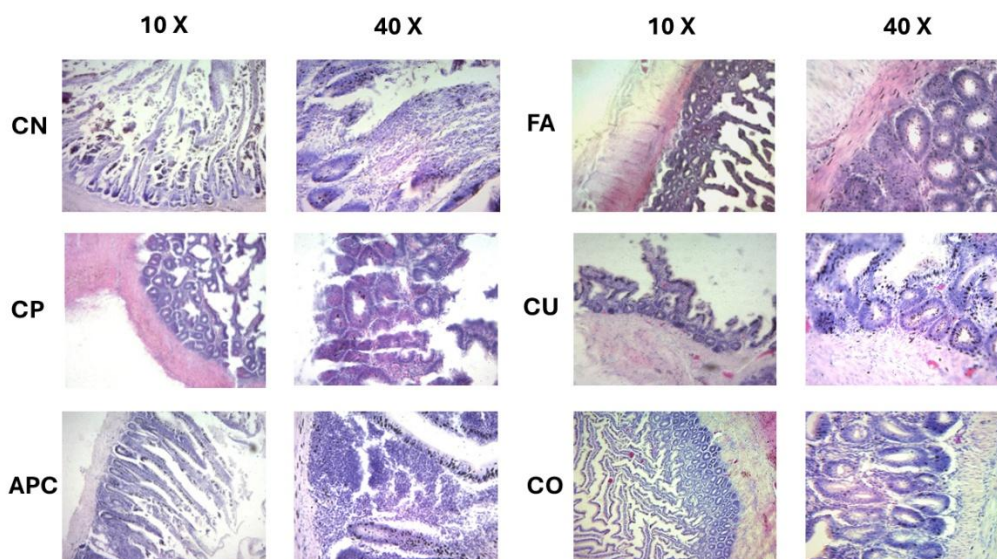


Figura 5. Histología del yeyuno del ave en objetivo 10x y 40x con distintos tratamientos. CN: Control negativo; CP: control positivo; APC: antibiótico promotor de crecimiento, COLIZIN; FA: fructanos de agave; CU: cúrcuma; CO: cobiótico.

En el caso del íleon (Figura 6), el grupo CN mostró vellosidades digitiformes recubiertas por epitelio columnar simple con células caliciformes distribuidas regularmente y lámina propia con escasa celularidad inflamatoria. En el CP, las vellosidades se encontraban acortadas y fusionadas, con necrosis focal y daño epitelial marcado, acompañados de un infiltrado inflamatorio denso en la lámina propia. El grupo APC, presentó una recuperación parcial, con vellosidades intermedias y epitelio conservado en algunas regiones, aunque persistieron focos de inflamación. En los grupos CU y FA se observaron vellosidades relativamente largas y epitelio más íntegro, con lámina propia poco infiltrada. El CO mostró la mejor recuperación, con vellosidades uniformes, epitelio continuo y mínima infiltración celular.

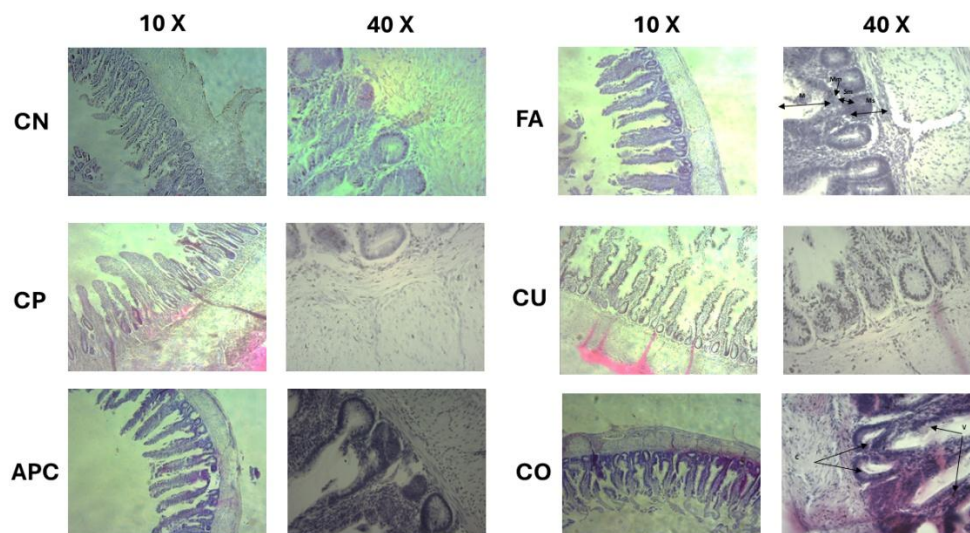


Figura 6. Histología del íleon con distintos tratamientos. CN: Control negativo; CP: control positivo; APC: antibiótico promotor de crecimiento, COLIZIN; FA: fructanos de agave; CU: cúrcuma; CO: cobiótico. V: vellosidades, C: criptas, M: mucosa, Mm: muscular de la mucosa, Sm: submucosa, Ms: muscular.

La figura 7, muestra las micrografías de intestino grueso con los diferentes tratamientos. El grupo CN muestra una mucosa colónica con criptas bien organizadas y uniformes. El epitelio se presenta continuo, sin signos de erosión ni infiltrado inflamatorio. La lámina propia exhibe una distribución celular normal, sin evidencia de edema ni congestión vascular aparente, representando así la estructura sana del intestino grueso. En el grupo CP, las criptas aparecen distorsionadas y acortadas, con una notable pérdida de su morfología cilíndrica. Se observa una intensa infiltración inflamatoria, presencia de edema y daño epitelial evidente, acompañado de hemorragia subepitelial. Estos hallazgos reflejan una colitis severa inducida por la infección. El grupo CU, presenta criptas con mejor conservación morfológica en comparación con el grupo infectado, aunque persisten signos moderados de infiltrado inflamatorio. El epitelio se muestra más continuo y se aprecia una leve mejoría en la organización de la lámina propia, lo que indica un efecto protector parcial de la cúrcuma frente al daño inducido. El grupo CO, evidencia una restauración casi completa de la arquitectura histológica. Las criptas son altas, alineadas y el epitelio se encuentra bien conservado. Hay una disminución notable del infiltrado inflamatorio y del edema, lo cual sugiere una recuperación tisular más efectiva. Este grupo demuestra el efecto terapéutico más destacado entre los tratamientos naturales. En el grupo FA, las criptas se presentan organizadas, aunque con una ligera variación en su altura. La lámina propia muestra un infiltrado linfoplasmocitario leve, sin signos evidentes de destrucción tisular. Aunque este tratamiento no resulta tan efectivo como el probiótico, logra reducir de forma clara los efectos inflamatorios de la infección. Finalmente, el grupo APC, muestra un epitelio parcialmente restaurado. Las criptas son reconocibles, pero se evidencian focos con daño epitelial leve y edema residual. El infiltrado inflamatorio persiste en un grado leve a moderado. Si bien se observa una mejoría general, el efecto no supera al del tratamiento combinado natural.

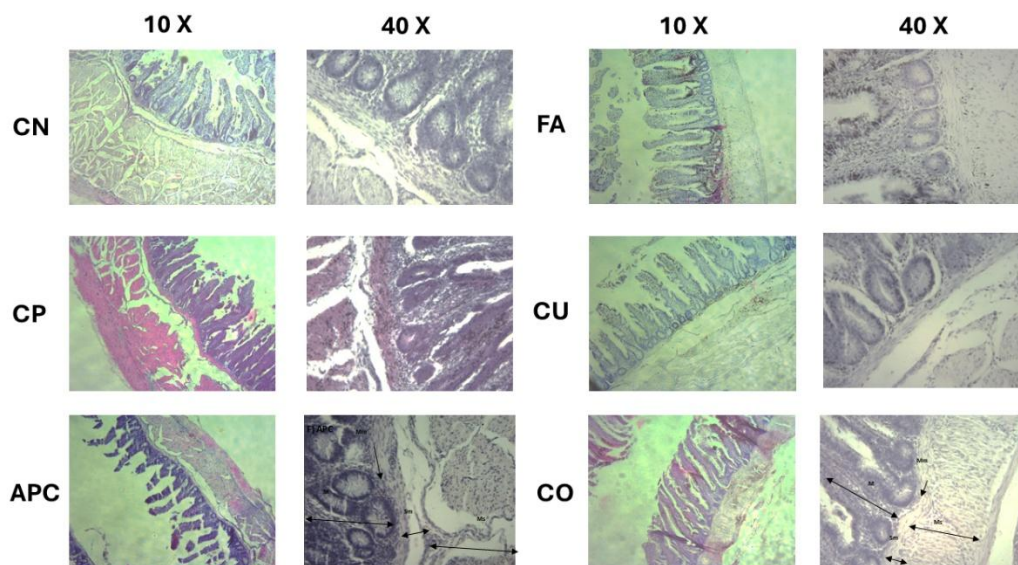


Figura 7. Histología del intestino grueso. CN: Control negativo; CP: control positivo; APC: antibiótico promotor de crecimiento, COLIZIN; FA: fructanos de agave; CU: cúrcuma; CO: cobiótico. V: vellosidades, C: criptas, M: mucosa, Mm: muscular de la mucosa, Sm: submucosa, Ms: muscular.

En el caso de la pechuga, las muestras del grupo experimental con APC y control positivo mostraron más friabilidad al manejo durante la deshidratación. Microscópicamente, la morfología tisular presentó mayor daño, observando tejido desgarrado y/o fragmentado. Los hallazgos indican que tanto la cúrcuma como el probiótico conservaron de forma efectiva la integridad histológica del tejido muscular frente a la infección por *Salmonella enteritidis*, en contraste con el grupo CP que presentó alteraciones estructurales evidentes. El grupo APC mostró una respuesta intermedia, con signos de protección parcial (figura 8). La observación microscópica de la pechuga muestra que en el grupo CN las fibras musculares mostraron una arquitectura conservada, alineadas de forma paralela y con escaso espacio intersticial. Los núcleos se localizaron en posición periférica, sin evidencia de vacuolas, necrosis o infiltrado inflamatorio. La tinción PAS mostró una matriz extracelular homogénea sin depósitos anormales. No se observó fibrosis ni signos de daño estructural. En el caso del CP, el tejido presentó fibras musculares disgregadas y parcialmente disueltas, con núcleos centrales indicativos de regeneración o lesión celular. Se identificaron vacuolas intracitoplasmáticas, incremento del tejido conectivo (fibrosis leve) y moderado infiltrado inflamatorio intersticial. La estructura general se vio comprometida como resultado del efecto citopático de *Salmonella enteritidis*. Por otro lado, en el grupo tratado

con APC, las fibras musculares se observaron parcialmente conservadas, con algunos espacios intersticiales y núcleos periféricos en su mayoría, aunque también se presentaron núcleos centrales de forma focal. Se evidenció leve incremento del tejido conectivo y mínima inflamación, sin signos marcados de necrosis o degeneración celular. En el tratamiento de Fructanos de Agave muestran un efecto protector moderado, reduciendo parcialmente el daño estructural, probablemente gracias a su capacidad prebiótica e inmunomoduladora, que atenúa la inflamación sistémica asociada a la infección. En el grupo tratado con cúrcuma las fibras musculares mantuvieron una disposición ordenada y continua, con núcleos en posición periférica. No se observaron vacuolas ni infiltrado inflamatorio, y el tejido conectivo fue escaso. La estructura histológica se aproximó al grupo control negativo, sugiriendo un efecto protector de la cúrcuma ante la infección. Finalmente, en el grupo CO, el tejido mostró fibras musculares alineadas y sin alteraciones morfológicas significativas. Los núcleos permanecieron periféricos, y no se observaron signos de inflamación, necrosis ni fibrosis. La integridad estructural fue comparable al grupo CN, lo que indica una posible acción terapéutica eficaz del probiótico. En la tabla 1, se muestra una comparación de los hallazgos histológicos en la pechuga de pollo con todos los tratamientos.

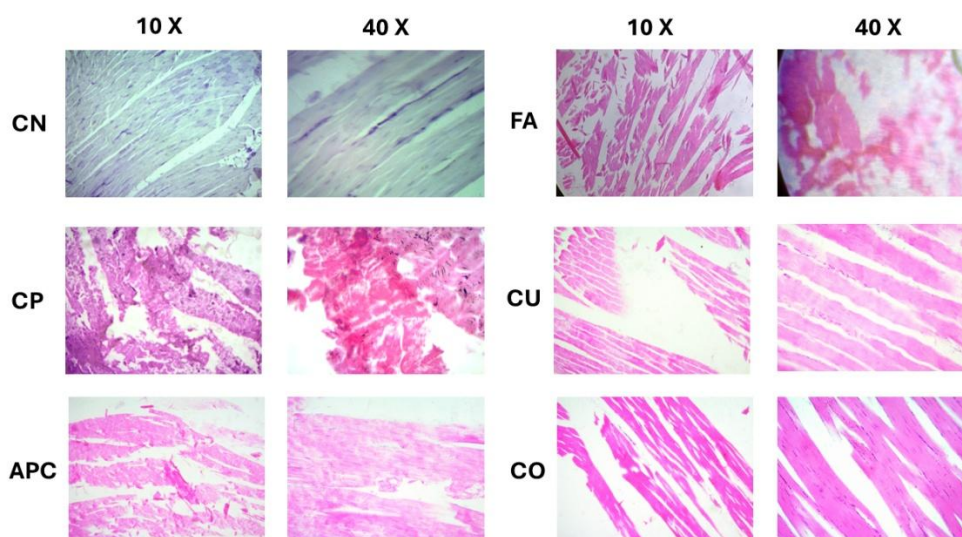


Figura 8. Cambios en la histología del músculo pectoral (pechuga) de pollos de engorda. Imágenes representativas de cortes transversales teñidos con hematoxilina y eosina (H&E) y ácido periódico de Schiff (PAS), a aumentos de 10X y 40X observadas en los distintos tratamientos: CN: control negativo (tinción PAS); CP: control positivo (infectado con *Salmonella enteritidis* ATCC-13076 sin tratamiento); APC: antibiótico promotor del crecimiento (colistina + bacitracina); FA: fructanos de agave (5%); CU: cúrcuma (0.2%); CO: probiótico (fructanos 5% + cúrcuma 0.2%).

Tabla 1. Comparación descriptiva por grupo ante infección por *Salmonella enteritidis*.

Grupo	Fibras	Núcleos	Tejido Conectivo	Daño Celular	Inflamación	Efecto frente a <i>S. enteritidis</i>
CN	Alineadas, intactas	Periféricos	Escaso	Ninguno	Ausente	Estado normal
CP	Fragmentadas	Centrales	Leve	Vacuolas	Moderada	Daño Severo
APC	Parcialmente conservadas, onduladas y alineadas.	Periféricos y centrales	Leve	Escaso	Mínimo	Efecto parcial
FA	Ligeramente disociadas, alineación parcial	Periféricos y algunos centrales	Leve incremento	Escaso	Leve	Protección Moderada
CU	Íntegras, alineadas	Periféricos	Escaso	Ninguno	Ausente	Protección eficaz
CO	Conservadas, bien alineadas	Periféricos	Escaso	Ninguno	Ausente	Protección comparable respecto a CN

Control negativo (CN, tinción PAS), Control positivo infectado con *Salmonella enteritidis* ATCC-13076 sin tratamiento (CP), Antibiótico promotor del crecimiento (APC: colistina + bacitracina), Fructanos de Agave (FA) Cúrcuma 0.2% (CU), Cobiótico (fructanos 5% + cúrcuma 0.2%) (CO). Comparativa adaptada de Wardbani.

Discusión

Los hallazgos histológicos observados en este estudio evidencian diferencias significativas en la integridad estructural de los tejidos intestinales entre los distintos grupos experimentales, lo que permite evaluar la eficacia relativa de los tratamientos naturales frente a los antibióticos convencionales durante la infección por *Salmonella enteritidis*. En el duodeno y yeyuno, el grupo tratado con los antibióticos promotores de crecimiento (APC) mostró vellosidades atrofiadas y epitelios irregulares, lo que sugiere una alteración del equilibrio microbiano intestinal (disbiosis) asociada al uso prolongado de antibióticos, tal como se ha reportado en otros estudios sobre el impacto de la colistina y la bacitracina en la microbiota intestinal aviar²⁰. Por el contrario, los grupos tratados con fructanos de agave (FA) y cúrcuma (CU), mostraron estructuras epiteliales más conservadas con mínima infiltración inflamatoria y criptas bien definidas, lo que coincide con los efectos prebióticos y antioxidantes descritos previamente para ambos compuestos²¹.

El grupo control negativo (CN), presentó una arquitectura intestinal íntegra tanto en íleon como en colon, con vellosidades íleales alargadas, epitelio continuo y criptas colónicas bien organizadas, sin signos de inflamación. Esta morfología coincide con la fisiología intestinal normal de las aves^{9,11}. En contraste, el grupo control positivo (CP), infectado con *S. enteritidis* sin tratamiento, mostró las lesiones más severas, caracterizadas por acortamiento y fusión de vellosidades, infiltrado inflamatorio intenso, necrosis focal y distorsión criptal, lo cual refleja el daño característico inducido por *S. enteritidis*^{22,23}. La severidad de las lesiones en este grupo reafirma el potencial zoonótico de esta bacteria y su relevancia en salud pública²⁴.

El grupo tratado con bacitracina y colistina (APC) mostró un patrón intermedio de restauración, pero su eficacia fue inferior a la observada con los aditivos naturales. Esto concuerda con estudios que evidencian que el uso prolongado de antibióticos como promotores del crecimiento, pueden alterar la bioenergética muscular y generar cambios degenerativos leves a pesar de que ha reportado su efectividad en el rendimiento intestinal^{29,5,30}.

El grupo FA, tratado con fructanos de agave, evidenció una mejor conservación estructural, especialmente en el intestino grueso, donde las criptas permanecieron organizadas y con mínima inflamación. Los FA actúan como prebióticos, estimulando el crecimiento de bacterias beneficiosas como *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, lo cual contribuye a mejorar la barrera intestinal y a modular la respuesta inmune²⁶. El grupo tratado con cúrcuma (CU) mostró una recuperación estructural parcial, con vellosidades más largas y menor congestión vascular en íleon, y menor infiltrado inflamatorio en colon. Estos efectos pueden atribuirse a la actividad antiinflamatoria y antioxidante de la curcumina, compuestos bioactivos presentes en la cúrcuma, los cuales han demostrado modular la expresión de citocinas proinflamatorias y proteger la integridad de la mucosa intestinal²⁵.

El tratamiento con probiótico (CO), que combina fructanos y cúrcuma, promovió una recuperación casi completa de la arquitectura intestinal, con vellosidades alargadas, epitelio continuo y una reducción significativa del infiltrado inflamatorio. Estos resultados respaldan la hipótesis de un efecto sinérgico entre los prebióticos y compuestos fitoactivos, en concordancia con estudios recientes que demuestran que la combinación de prebióticos con antioxidantes potencia la modulación del microbiota intestinal y favorece la regeneración epitelial^{27,28}.

Los efectos observados en el músculo pectoral evidencian el impacto de *Salmonella enteritidis* sobre la integridad tisular y la eficacia diferencial de los tratamientos. Mientras la infección provocó fragmentación de fibras, vacuolización, fibrosis leve e infiltrado inflamatorio en el grupo control positivo, los tratamientos con cúrcuma y probiótico preservaron la arquitectura muscular gracias a sus propiedades antiinflamatorias, antioxidantes e inmunomoduladoras, mostrando superioridad sobre el antibiótico promotor de crecimiento, que solo logró recuperación parcial. Estos resultados, además de resaltar la protección de la musculatura y la calidad de carne, sirven como marco para evaluar de manera complementaria los efectos de los mismos tratamientos sobre la integridad intestinal. La preservación de fibras intactas, sin infiltrado ni alteraciones estructurales, sugiere que ambos tratamientos contrarrestan efectivamente los procesos degenerativos e inflamatorios iniciados por *S. enteritidis*^{27,28}. El hallazgo de núcleos centrales en control positivo y focalmente en APC indica daño y activación regenerativa, ausente en aves con tratamiento de cúrcuma y probiótico, lo cual sugiere una menor agresión tisular y recuperación más eficiente, de igual forma ofrecen una protección histológica efectiva, manteniendo la arquitectura muscular saludable^{29,30}. La conservación del tejido muscular tiene implicaciones directas en calidad de carne y perfil nutricional. El tratamiento con antibiótico promotor de crecimiento ofrece mejoras parciales, pero no revierte completamente el daño³¹. La combinación de probiótico mostró además efectos beneficiosos sobre la microbiota intestinal, modulando la inflamación y contribuyendo a la integridad tisular.^{30,32} El grupo tratado con fructanos de agave concuerda con estudios previos que demuestran la acción prebiótica, antioxidante e inmunomoduladora de estos compuestos en aves de corral^{37,38}. Los fructanos de Agave promueven la proliferación de bacterias beneficiosas como *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, estas modulan la respuesta inflamatoria y reducen la translocación de *Salmonella enteritidis* a tejidos periféricos³⁸. La suplementación con fructanos de agave mejora el metabolismo energético muscular y la integridad epitelial intestinal, lo que podría explicar la preservación parcial de las fibras musculares observada en este estudio³⁸. Adicionalmente incrementan la producción de ácidos grasos de cadena corta, con efecto antiinflamatorio sistémico y mejora en la respuesta inmune humoral^{39,40,41}.

La fragmentación leve de algunas fibras puede atribuirse a un daño previo a la intervención o a la variabilidad individual en la respuesta al tratamiento, más que a una acción negativa del compuesto. En general, los resultados respaldan el potencial de los fructanos como alternativa funcional para reducir el impacto tisular de infecciones entéricas sin recurrir a antibióticos convencionales.

En conjunto, los tratamientos naturales, especialmente el probiótico, no solo mitigan los efectos de *S. enteritidis* sobre la arquitectura intestinal, sino que también promueven un entorno antiinflamatorio sostenido y seguro frente a los antibióticos convencionales. Esto cobra especial relevancia en el contexto actual de la producción avícola, donde la presión regulatoria y la demanda de productos libres de antibióticos, impulsan la búsqueda de alternativas sostenibles.

Conclusión

En conclusión, los tratamientos naturales mostraron eficacia variable frente a la infección por *S. enteritidis*, respaldando el potencial uso de alternativas naturales en la prevención y manejo de enfermedades entéricas en aves, con beneficios adicionales sobre la salud intestinal y sin los riesgos asociados al uso prolongado de antibióticos.

Agradecimientos

Los autores agradecemos a la Universidad de Guanajuato por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo. Agradecemos a las estudiantes de la Maestría en Producción Pecuaria Dulce Alana Sara Serrano Moreno y Monserrat Esperanza Silva Sánchez, por el apoyo en la asesoría de la técnica histológica.

Bibliografía/Referencias

1. Consejo Mexicano de la Carne (COMECARNE). (2025). Compendio estadístico 2025. <https://compendio2025.comecarne.org/>
2. European Food Safety Authority (EFSA). (2019). The European Union One Health 2018 Zoonoses Report. *EFSA Journal*, 17(12), e05926. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5926>
3. Lin, J., Wang, Y., & Gu, K. (2023). Progress in control strategies of Salmonella Enteritidis in poultry: A review. *Microorganisms*, 11(11), 2814. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11112814>
4. Zhang, Y., Lin, J., & Zhu, W. (2022). Prevalence and antimicrobial resistance of Salmonella enterica isolated from poultry meat. *Life*, 12(11), 1695. <https://doi.org/10.3390/life12111695>
5. EFSA. (2023). The European Union One Health 2022 Zoonoses Report. *EFSA Journal*, 21(12), e08338. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8338>
6. Chousalkar, K., Gole, V., Caraguel, C., & Rodi, J. (2013). Colonization, shedding, and tissue distribution of *Salmonella Typhimurium* and *Salmonella Sofia* in experimentally infected laying hens. *Avian Diseases*, 57(3), 546–554. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4766288/>
7. Wills, R. W., Luginbuhl, G. H., & Ryals, W. A. (2012). Pathology of *Salmonella Enteritidis* infection in poultry. *Avian Pathology*, 21(4), 745–757.
8. Elhassan, M. M. O., Ali, A. M., Eissa, L., & Taha, A. A. (2022). Histology of the small intestine of broiler chicks. *University of Bahri Journal of Veterinary Sciences*, 1(2), 55–61. https://www.researchgate.net/publication/362157198_Histology_of_the_small_intestine_of_broiler_chicks
9. Scanes, C. G., Toukhsati, S. R., & Hill, D. R. (2022). *Sturkie's avian physiology* (7th ed.). Elsevier.
10. Taha, A. M. (2021). Comparative histological and histochemical study of the ileum in two different birds. *Iraqi Journal of Veterinary Sciences*, 35(3), 479–487. <https://scispace.com/pdf/comparative-histological-and-histochemical-study-of-the-as30y8yqyn.pdf>
11. Abdellatif, A. M., Farag, A., & Metwally, E. (2022). Anatomical, histochemical, and immunohistochemical observations on the gastrointestinal tract of *Gallinula chloropus* (Aves: Rallidae). *BMC Zoology*, 7, 61. <https://doi.org/10.1186/s40850-022-00159-x>
12. Levkut, M., Revajová, V., Levkútová, M., Čížek, M., Ševčíková, Z., Faixová, Z., & Leng, L. (2019). Muscle characteristics in chicks challenged with Salmonella Enteritidis and the effect of preventive application of the probiotic Enterococcus faecium. *Poultry Science*, 98(4), 1887–1897. <https://doi.org/10.3382/ps/pez050>
13. Franco-Robles, E., & Hernández-Granados, M. J. (2024). Effects of dietary supplementation of probiotic based on Agave fructans on growth performance, blood parameters, oxidative damage and immune status of broiler. *Tropical Animal Health and Production*, 56(6), 215. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39004693/>

14. Hernández-Granados, M. J., Ortiz-Basurto, R. I., Jiménez-Fernández, M., García-Munguía, C. A., & Franco-Robles, E. (2021). Dietary encapsulated *Bifidobacterium animalis* and Agave fructans improve growth performance, health parameters, and immune response in broiler chickens. *Animal bioscience*, 35(4), 587. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34530516/>
15. Yang, C., Wang, L., Wang, H., Lu, Z., & Li, D. (2021). Effects of *Enterococcus faecium* on intestinal barrier function and inflammatory response in broiler chickens challenged with *Salmonella*. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 676831. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.676831>
16. Zhu, X., Zhang, L., Li, M., Wu, W., Xie, Q., Zhang, X., & Liu, Y. (2023). *Bacillus pumilus* TS1 alleviates *Salmonella* Enteritidis-induced intestinal injury in broilers via antioxidative and anti-inflammatory pathways. *BMC Veterinary Research*, 19(1), 71. <https://doi.org/10.1186/s12917-023-03598-0>
17. Liu, H., Wang, J., He, T., Becker, S., Zhang, G., Li, D., & Ma, X. (2020). Butyrate: A double-edged sword for health? *Advances in Nutrition*, 9(1), 21–29. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz020>
18. Stevens, A., & Lowe, J. (2018). *Human histology* (5th ed.). Elsevier.
19. Silva Sánchez, M. E. (2025). Evaluación de fructanos de agave y cúrcuma como co-biótico sobre parámetros productivos, hematológicos e inmunológicos de pollos con salmonelosis (Tesis de maestría). Universidad de Guanajuato.
20. Yang, C., Wang, L., Wang, H., Lu, Z., & Li, D. (2021). Effects of *Enterococcus faecium* on intestinal barrier function and inflammatory response in broiler chickens challenged with *Salmonella*. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 676831. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.676831>
21. Micciche, A. C., Foley, S. L., Pavlidis, H. O., McIntyre, D. R., & Rieke, S. C. (2018). A Review of Prebiotics Against *Salmonella* in Poultry: Current and Future Potential for Microbiome Research Applications. *Frontiers in veterinary science*, 5, 191. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00191>
22. Chousalkar, K., Gole, V., Caraguel, C., & Rodi, J. (2013). Colonization, shedding, and tissue distribution of *Salmonella Typhimurium* and *Salmonella Sofia* in experimentally infected laying hens. *Avian Diseases*, 57(3), 546–554.
23. Wills, R. W., Luginbuhl, G. H., & Ryals, W. A. (2012). Pathology of *Salmonella Enteritidis* infection in poultry. *Avian Pathology*, 21(4), 745–757.
24. World Health Organization (WHO). (2018). *Salmonella* (non-typhoidal). World Health Organization. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-\(non-typhoidal\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-(non-typhoidal))
25. Hosseini, S. S., Reihani, R. Z., Doustvandi, M. A., Amini, M., Zargari, F., Baradaran, B., ... & Mokhtarzadeh, A. (2022). Synergistic anticancer effects of curcumin and crocin on human colorectal cancer cells. *Molecular Biology Reports*, 49(9), 8741–8752. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35988102/>
26. Roberfroid, M., Gibson, G. R., Hoyle, L., McCartney, A. L., Rastall, R., Rowland, I., ... & Watzl, B. (2010). Prebiotic effects: Metabolic and health benefits. *British Journal of Nutrition*, 104(S2), S1–S63. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20920376/>
27. Markowiak, P., & Śliżewska, K. (2017). Effects of probiotics, prebiotics, and synbiotics on human health. *Nutrients*, 9(9), 1021. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28914794/>
28. Rishi, P., Sharma, M., Kaur, I. P., & Chopra, K. (2020). Synbiotic formulation: Effect on intestinal mucosal immune response and gut microbiota in experimental colitis. *Life Sciences*, 255, 117854.
29. Northcutt, J. K., & Smith, D. P. (2014). *Poultry meat processing*. CRC Press.
30. M'Sadeq, S. A., Wu, S., Swick, R. A., & Choct, M. (2015). Towards the control of necrotic enteritis in broiler chickens with in-feed antibiotics phasing-out worldwide. *Animal Nutrition*, 1(1), 1–11. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29766984/>
31. Hernández-Granados, M. D. L., Franco-Robles, E., Ramírez-Moreno, E., & Ramírez-Ramírez, J. C. (2021). Effects of prebiotics derived from agave on inflammation and oxidative stress in poultry. *Nutrients*, 13(2), 400. <https://doi.org/10.3390/nu13020400>
32. Wardhani, D. K., Pramono, Y. B., & Retnoningrum, E. W. (2019). Histopathological studies on broiler chicken infected with *Salmonella* Enteritidis and treated with turmeric extract. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci.*, 247, 012054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/247/1/012054>

33. Leyva Díaz, E., Hernández Patlán, D., Solís Cruz, B., Latorre, J. D., Kwon, Y. M., Hargis, B. M., & López Arellano, R. (2021). Evaluation of curcumin–copper acetate combinations against *Salmonella* Typhimurium in broilers: Effects on performance, intestinal integrity, microbiota, and systemic inflammation. *J Anim Sci Biotechnol*, 12(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00545-7>
34. Chen, W., Wang, J. P., Li, Y., & Xia, F. (2021). Effects of compound probiotics on intestinal barrier and immune function in broilers. *Animals*, 11(7), 1878. <https://doi.org/10.3390/ani11071878>
35. Goel, A. K., Gupta, P., & Malik, S. V. S. (2008). Limitations of growth-promoting antibiotics on structural integrity post-infection in broilers. *Vete Microbiol*, 129(3–4), 231–237.
36. Zhu, X., Zhang, L., Li, M., Wu, W., Xie, Q., Zhang, X., & Liu, Y. (2023). *Bacillus pumilus* TS1 alleviates *Salmonella* Enteritidis-induced intestinal injury in broilers via antioxidative and anti-inflammatory pathways. *BMC Veterinary Research*, 19(1), 71. <https://doi.org/10.1186/s12917-023-03598-0>
37. Hernández-Patlán, D., Solís-Cruz, B., Méndez-Albores, A., Latorre, J. D., Baxter, M. F., & Téllez, G. (2018). Evaluation of the antimicrobial and anti-inflammatory effects of curcumin dispersed in solid matrix against *Salmonella Enteritidis* in broiler chickens. *Poultry Science*, 97(4), 1281–1291. <https://doi.org/10.3382/ps/pex427>
38. López, M. G., Mancilla-Miranda, D., & Escoto-Aguilar, A. (2019). Prebiotic effects of agave fructans in poultry: metabolic and immune modulation. *Animal Feed Science and Technology*, 252, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.04.004>
39. Roberfroid, M., Gibson, G. R., & Delzenne, N. (2020). Prebiotic effects of inulin and oligofructose in human and animal health. *British Journal of Nutrition*, 123(2), 123–135. <https://doi.org/10.1017/S0007114520000325>
40. Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., & Reimer, R. A. (2020). Expert consensus document: The ISAPP consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 17(9), 687–701. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-0341-5>
41. Wardhani, D. K., Pramono, Y. B., & Retnoningrum, E. W. (2019). Histopathological studies on broiler chicken infected with *Salmonella enteritidis* and treated with turmeric extract. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 247, 012054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/247/1/012054>