DECIMOQUINTO CONGRESO INTERNACIONAL
AVEM 2023

Pachuca, Hidalgo, México
6 al 8 de junio de 2023

Víctor Manuel Petrone García
Editor en jefe

Juan Carlos del Río García
Editor asociado

Decimocuarto Congreso Internacional AVEM

Editor en jefe: Víctor Manuel Petrone Garcia

Editor asociado: Juan Carlos del Río García

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni parcial ni totalmente ni registrada en, o transmitida por, un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni formato, por ningún medio, sea mecánico, fotocopiado, electrónico, magnético, electroóptico o cualquier otro, sin el previo y por escrito de la editorial.

La información contenida en cada uno de los trabajos es responsabilidad de los autores

Derechos reservados Aviespecialistas de México AC © 2022, 1ª edición.
Clavelinas 266, Nueva Santa María, 02800 Azcapotzalco, Ciudad de México

ISBN:

AVEM
Aviespecialistas de México

Impreso y hecho en México

MESA DIRECTIVA DE AVEM 2023-2025

PRESIDENTE
Víctor Manuel Petrone García

VICEPRESIDENTE
José Ángel Camacho

SECRETARIO
Víctor Manuel Valdés Narváez

TESORERO
Enrique Oscar García Vera

VOCALES RELACIONES NACIONALES
Alberto García Meade
Inkar Castellanos Huerta

VOCAL RELACIONES COMERCIALES
Ángel Felix Borbolla

COMITÉ DE MEMBRESÍAS
Julio Sanchez

COMISIÓN CIENTÍFICA
Víctor Manuel Petrone
Jorge Aguirre Esponda
Enrique Oscar García Vera

CHAIRMAN DEL CONGRESO
Jorge Sánchez Zúñiga

Relaciones Internacionales
Guillermo Téllez Isaías

ASISTENTE DE CHAIRMAN
Inkar Castellanos Huerta

LISTA DE CONTENIDOS

MESA DIRECTIVA de AVEM 2023-2025 3

PRESIDENTE 3

EFFICACY BETWEEN VACCINES OF DIFFERENT TECHNOLOGIES WITH THE SAME HEMAGGLUTININ AND DIFFERENT NEURAMINIDASE IN AVIAN INFLUENZA VIRUS INFECTIONS 7

Klaudia Chrzastek 7

MOLECULAR CHANGES BETWEEN H5N1 VIRUSES BETWEEN EUROPE, NORTH AMERICA AND SOUTH AMERICA AND THEIR POSSIBLE RELATIONSHIP WITH THEIR PATHOGENICITY AND INFECTION IN MAMMALS 9

Klaudia Chrzastek 9

COMO MEJORAR EL DESEMPEÑO DE SU MÁQUINA INCUBADORA MULTIETAPA 10

Armando Medel De Gante 10

ACTUALIZACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES EN GALLINAS PONEDORAS DE CICLO PRODUCTIVO LARGO 11

Guillermo Díaz Arango 11

ENZIMAS EXÓGENAS: UN NUEVO ENFOQUE 20

Otto Mack Junqueira 20

ACTUALIZACIÓN SOBRE NUEVOS ESTUDIOS EN MICROMINERALES 21

Otto Mack Junqueira 21

ALTERNATIVES TO ANTIMICROBIAL GROWTH PROMOTERS AND THEIR IMPACT IN GUT MICROBIOTA, HEALTH AND DISEASE 22

Guillermo Tellez-Isaias[1], Juan D Torre[1], Victor M Petrone-Garcia[2] 22

CHRONIC STRESS, CHRONIC INFLAMMATION, AND MITOCHONDRIAL DYSFUNCTION: THE SILENT KILLERS 28

Guillermo Tellez-Isaias[1], Wolfgang Eisenreich[2], Victor M. Petrone-Garcia[3], Xochitl Hernandez-Velasco[4], Inkar Castellanos-Huerta[1,5], Guillermo Tellez Jr. [6], Juan D. Latorre[1], Walter G. Bottje[1], Roberto Señas-Cuesta[1], Makenly E. Coles[1], Billy M. Hargis[1], Saeed El-Ashram[7], Brittany D. Graham[1], and Awad A. Shehata[8, 9, 10] 28

REVISIÓN: MIGRACIÓN DEL VIRUS DE INFLUENZA AVIAR H5N1 A AMÉRICA 50

Aranda Jimenez Alejandro Jacobo[1], Víctor Manuel Petrone-García[2], Gabriela Aguilar Tipacamú[1], Inkar Castellanos-Huerta[3], Guillermo Tellez-Isaías[3] 50

EFECTO DEL POLVO DE AJO MORADO ESPAÑOL (*Allium sativum*) EN POLLOS DE ENGORDA EN CONDICIONES EXPERIMENTALES 54

Shalaiko C Carlin[1]*, Cecilia Rosario[2], Iván Juárez[3], María E Juárez [1], Sheila Peña[4], J. Roberto Suárez- Monedero[5] y Dinorah Vargas[1] 54

COMPARACIÓN DE UN PROGRAMA DE VACUNACIÓN CONTRA GUMBORO POR VÍA ORAL Y UN PROGRAMA DE VACUNACIÓN CON COMPLEJO INMUNE EN POLLO DE ENGORDA COMERCIAL 65

Lilia Castellanos Novoa[1*], De Gasperín Ramiro[2], Francisco Rojo[1], Orea A [1], Ramos R [1], Franco R 65

EVALUACIÓN DE COMPATIBILIDAD Y DESEMPEÑO PRODUCTIVO EN PONEDORAS COMERCIALES INMUNIZADAS CON VACUNAS VECTORIZADAS RHVT-H7 Y RHVT-F APLICADAS SIMULTÁNEAMENTE 71

Ricardo Franco Iñiguez, Francisco Javier Rojo, Arturo Orea, David Dueñas, Lilia Castellanos L 71

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y COSTOS DE ALIMENTACIÓN EN POLLOS EN FINALIZACIÓN ALIMENTADOS CON DIFERENTES NIVELES DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*) EN LA DIETA 74

Johana Paola Galeano Diaz[1], C.J. Rubio[1], J.E. Sánchez Torres[1], I.A. Domínguez Vara[1], E.Morales Almaraz[1], B. Valladares Carranza[1],O.V. Vázquez Mendoza[2], V. Valdés Narváez[3] 74

SISTEMAS DE LIBERACIÓN MODIFICADA, DE SUPLEMENTOS DE CANELA Y CURCUMA EN POLVO PARA MEJORAR LA PRODUCCION DE HUEVO EN GALLINA EN SU SEGUNDO Y TERCER CICLOS 77

Hector S. Sumano Lopez, Lizbeth Y. Carrillo Gonzalez, Lilia Gutierrez Olvera[*] 77

EFECTO DE LA COMBINACIÓN DE VITAMINAS C Y D3 CON FUENTES QUELADAS DE ZINC Y MANGANESO SOBRE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE HUEVOS EN GALLINAS DE EDAD AVANZADA Y SOMETIDAS A ESTRÉS TÉRMICO.....86

Anne-Sophie Hascoët y Paul Cardozo 86

COMPORTAMIENTO NOCTURNO DEL *Gallus gallus domesticus* MINIATURA 93

Mateo Itza-Ortiz*, Angélica Escárcega-Ávila, Ernesto Orozco-Lucero, José Carrera-Chávez, Andrés Quezada-Casasola, Manuel Brito-Hernández 93

LA INMUNIDAD PASIVA ORAL CON UNA SUSPENSIÓN DE IgYs *Eimeria* SP-ESPECÍFICAS EXHIBE PROTECCIÓN TERAPÉUTICA EFICAZ EN UNA INFECCIÓN SEVERA CON OOQUISTES DE *E. tenella* 96

Marco Antonio Juárez-Estrada*[1, 2], Guillermo Tellez-Isaias[3], Feliz D Sánchez-Godoy[1], Rogelio Antonio Alonso-Morales[2] 96

UNA SUSPENSIÓN DE IgYs DE LA YEMA DE HUEVOS DE GALLINAS INMUNIZADAS CON ESPOROZOITOS DE *Eimeria tenella* RECONOCE DETERMINANTES ANTIGÉNICOS ESPECÍFICOS EN DOS FASES DEL CICLO DE VIDA DEL PARÁSITO 100

Marco Antonio Juárez-Estrada*[1, 2], Guillermo Tellez-Isaias[3], Feliz D Sánchez-Godoy[1], Rogelio Antonio Alonso-Morales[2] 100

EFECTO DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS DE LOMBRICOMPOSTA ADICIONADAS EN DIETAS DE POLLOS DE ENGORDA USANDO DOS REGÍMENES ALIMENTICIOS 104

Yair Roman López García*[1], Sergio Gómez Rosales[2], María de Lourdes Angeles[2], Rubén Merino Guzmán[3], Guillermo Téllez Isaías[4]. 104

EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE CUATRO ADITIVOS EN DIETAS PARA POLLO DE ENGORDA DE 1 A 49 DÍAS SOBRE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS 112

Ornelas Roa Ángel Manuel[1], Margarito Romero Melanie[1,2] 112

PRODUCCIÓN DE PAVO: UNA PARTE DE LA AVICULTURA QUE VA GANANDO TERRENO 117

Shayra Martínez Sánchez 117

POTENCIAL DEL ÁCIDO TARTÁRICO EN COMBINACIÓN CON LA RADIACIÓN NO IONIZANTE PARA LA REDUCCIÓN DEL CONTENIDO DE AFLATOXINAS EN EL MAÍZ DESTINADO PARA LA INDUSTRIA AVÍCOLA 120

Claudia Aránzazu Alcantar-Barrios[1], María de Jesús Nava-Ramírez[1*], Alma Vázquez-Durán[1], Abraham Méndez-Albores[1]..... 120

EVALUACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE FÓSFORO DIGESTIBLE EN GALLINAS HY-LINE W 80 132

Miguel Alberto Pérez Espinoza, Benjamín Fuente Martínez y Ezequiel Rosales Martínez 132

EVALUACIÓN DE TRES ALIMENTOS COMERCIALES EN CODORNIZ JAPONESA (*Coturnix japonica*) POSTURA 139

Jennifer Pérez Martínez 139

AVEM
Avi especialistas de México

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL EN POLLOS SASSO EN ETAPA DE CRECIMIENTO-FINALIZACIÓN ALIMENTADOS CON ECOBIOL Y PROPHORCE EN LA DIETA 143

Johana Paola Galeano Diaz[1], M. Moreno Díaz[1], I.T. Cruz Alcalan[1], Juan Edrei Sanchez Torres[1], I.A. Domínguez Vara[1], E. Morales Almaraz[1], L. Uribe Mejía[1], O.V. Vázquez Mendoza[2], V. Valdés Narváez[3], M.L. Garcia Bello 143

EFECTO DE *Bacillus amyloliquefaciens* Y TRIBUTIRINA SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO, CALIDAD DEL HUEVO Y MORFOLOGÍA INTESTINAL EN GALLINAS PONEDORAS 148

Oscar Vicente Vazquez Mendoza1, V.M. Valdes2, V.D. Naranjo3, R. Santiago1, E. Rosales4, P. Vazquez5, M.A. Ortiz-Heredia5 ... 148

FACTORES NO NEGOCIABLES PARA PROGRAMAS DE PRODUCCIÓN DE HUEVO EN PONEDORAS LONGEVAS 157

Guillermo Díaz Arango 157

MODELAJE COMO HERRAMIENTA PARA ÓPTIMA PRODUCCIÓN DE CARNE DE POLLO 162

Nilva Sakomura y Rony Riveros Lizana 162

MODELOS PARA ESTIMAR LOS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE POLLONAS Y PONEDORAS: IMPLICACIONES PRÁCTICAS EN LA PRODUCCIÓN AVÍCOLA COMERCIAL 166

Nilva Sakomura y Rony Riveros Lizana 166

VARIABILIDAD Y ADAPTABILIDAD DEL VIRUS DE INFLUENZA AVIAR EN MÉXICO 170

Inkar Castellanos-Huerta[1], Victor Manuel Petrone-García[2], Guillermo Tellez-Isaias[1], Billy Hargis[1] 170

AVEM
Aviespecialistas de México

EFFICACY BETWEEN VACCINES OF DIFFERENT TECHNOLOGIES WITH THE SAME HEMAGGLUTININ AND DIFFERENT NEURAMINIDASE IN AVIAN INFLUENZA VIRUS INFECTIONS

Klaudia Chrzastek
APHA, Animal and Plant Health agency, UK

Avian influenza virus (AIV) belongs to Orthomyxoviridae family and is characterised by containing negative-sense, single-stranded RNA genome of 8 segments that encode for 10 structural and at least 9 nonstructural/regulatory proteins. Hemagglutinin (HA) and neuraminidase (NA) that are the most abundant and immunogenic surface protein, and are involved in virus entry and exit from the cell. There are 18 hemagglutinin and 11 neuraminidase subtypes that are known to exist in the nature, and all but H17N10 and H18N11 subtypes circulate in wild aquatic birds which are the largest known natural reservoir of AIVs. Out of 144 possible HA-NA combinations, over 120 were reported to exist in non-bat AIVs in nature. Although many combinations are possible, only limited numbers are prevalent so far.

The main role of hemagglutinin is to attach the virions to the terminal sialic acid (SA) residues on glycoproteins/glycolipids and initiate the infectious cycle, while NA cleaves terminal sialic acids, releasing virions to complete the infectious cycle. Attachment of single HA trimer to SA is low, however, multivalent binding of multiple HA trimers can increase the avidity up to 106 making the attachment almost irreversible if mitigating factors such as blocking antibodies (Ab) are absent. Neuraminidase is not needed to initiate infection. However, it plays a role in completing the infectious cycle by releasing the virions from the cells surface (preventing aggregation of virions) via HA desialylation and possibly also virion glycolipids, facilitating viral engagement of target cells. The NA is therefore the main target of antiviral drugs for the treatment of influenza virus infections in human (e.g., oseltamivir, zanamivir, peramivir, etc.).

Vaccines are an essential tool for the control of influenza virus infection in domestic animals, including poultry to prevent and control highly pathogenic avian influenza virus (HPAIV) infection in domestic birds. However, only limited number of countries authorised the use of vaccination against AIVs. China is the leader, followed by Egypt, Indonesia and Vietnam. In China, trivalent vaccine has been updated recently to include RE-13 (H5N6 2.3.4.4 h virus), RE-14 (H5N8 2.3.4.4b virus) and RE4 (H7N9 virus). A multivalent vaccine based on H9N2, H5N1 and H7N3, and clades 2.1.3 and 2.3.2.1 seed strains, have been developed in Pakistan and Indonesia, respectively. Recently due to ongoing H5Nx AIV outbreak, European Union approved Nobilis Influenza H5N2 and Poulvac FluFend H5N3 RG vaccines to use in certain types of poultry, Nobilis Influenza H5N2 can be used in chickens whereas Poulvac FluFend H5N3 RG in chickens and Pekin ducks. In USA, there are different H5Nx-based licensed vaccines (killed, DNA, and polyvalent) against AIVs available on the market (as of February 2023). Both, hemagglutinin, and neuraminidase are targeted during the vaccine formulation. Although a role for NA-mediated immunity has been known for some time, protection from influenza virus infection has predominantly been associated with antibody responses to the HA glycoprotein. Along with conventional inactivated/killed vaccines, a new technology for vaccine development has been applied to catch up with a worldwide demand. This includes recombinant vectored-live vaccines (such as HVT-AI), reverse engineered (eg. rg H5N3), RNA particles (eg. alphavirus RPH5), plasmid DNA vaccines, virus-like particles - VLPs (mono- or polyvalent), or mRNA-based influenza vaccines (especially in human). We have previously tested three different vaccine technologies to evaluate their efficacy against 2.3.4.4 H5N2 HPAI challenge in turkeys. This includes reverse genetic clade 2.3.4.4 H5 hemagglutinin (HA) gene (rgH5), recombinant turkey herpesvirus encoding a clade 2.2. H5 HA (rHVT-AI), and recombinant replication-deficient alphavirus RNA particle vaccine encoding a clade 2.3.4.4 H5 HA (RP-H5). All vaccines offered significant protection against lethal challenge. The most-efficacious vaccine tested in this study was rgH5 which also contained an N1 and would be considered differentiate infected from vaccinated animals (DIVA) compatible. However, not all the vaccines tested in this study, provided a full protection, which is similar to our previous findings in chickens. Details will be discussed during the presentation.

Matching the vaccine to the challenge strain provides the best clinical protection and reduction in virus shedding, which is important to control disease, but the main goal of the newly generated vaccines is to induce heterologous immunity which could protect against many influenza strains. This could be potentially achieved by generation of multivalent-

matching the circulating strains vaccines or by targeting "universal", broadly conserved epitopes (by using epitope mapping) that are less affected by antigenic drift. We have previously shown that multi-clade H5 (clades: 2.3.4.4; 2.1.3; 2.2.1) VLPs might protect from H5N8 and H5N1 challenge. Recently, the NA has reemerged as an attractive antigenic target for vaccine development, especially in relation to seasonal influenza in human since it harbours broadly conserved epitopes. Vaccines engineered to express high levels of NA in vivo are important to better understand the role of NA immunity in protection against AIV. It was demonstrated in mice that vaccination with N1 VLPs from A/California/04/2009 (N1 VLP) strain induced cross-protection against antigenically different influenza viruses of H1N1, H5N1 and H3N2 subtype (Kim et al., 2019). N1 VLP-immunized mice were 100% protected against homologous A/Cal (H1N1) and heterologous rgH5N1 virus lethal challenge suggesting that neuraminidase-presenting VLP could be potentially developed as an effective cross-protective vaccine candidate (Kim et al., 2019). Furthermore, commercial incorporation of immunomodulators (TLR, cytokines, etc) in conventional vaccines and/or incorporation of genes in recombinant vectored vaccines might also enhance specificity and duration of immunity to infection.

AVEM
Aviespecialistas de México

MOLECULAR CHANGES BETWEEN H5N1 VIRUSES BETWEEN EUROPE, NORTH AMERICA AND SOUTH AMERICA AND THEIR POSSIBLE RELATIONSHIP WITH THEIR PATHOGENICITY AND INFECTION IN MAMMALS

Klaudia Chrzastek
APHA, Animal and Plant Health agency, UK

Avian influenza viruses (AIVs) are classified as either low-pathogenicity (LP) or high-pathogenicity (HP). LPAIVs generally cause mild infections, whilst HPAIVs can cause high mortality in a wide range of avian species. AIV subtypes are defined based on their surface glycoproteins, haemagglutinin (HA; H1-H16) and neuraminidase (NA; N1-N9), and HPAIVs appear restricted to the H5 and H7 subtypes. HPAI viruses are of major concert for their pandemic potential and the impact of the socioeconomic agricultural outbreaks. Specifically, the goose/Guangdong H5 HPAI viruses, which emerged in 1996, are the only HPAI viruses known to be sustained in wild waterfowl populations. Driven by mutations and reassortment events those viruses evolved rapidly and spread globally. In 2005, hey were identified as Z-genotype and then defined by clade 2.2. Next, goose/Guangdong H5 HPAI viruses established two distinct lineages of virus, the 2.3.2 and 2.3.4 clade that co-circulated for some time in Asia, which further divergent into distinct groups via genetic drift and disseminated globally. These viruses made their way to the United States and Canada in 2014. Recently, to update and unify the nomenclature of clade 2.3.4.4 eight genetic groups (a–h) have been recognised (WHO, 2020).

Since 2020, H5N1 HPAI has been responsible for over 90 million poultry deaths across Africa, Asia, Europe, and North America. In November 2022, HPAI(H5) arrived in Peru, next spread towards Panama, Honduras, Costa Rica, and Guatemala. HPAI H5N1 was also reported in captive wild birds in zoo in Havana, Cuba (7 February 2023). The first occurrence of H5 in Argentina and Uruguay was also reported. Most of these viruses are reassortant between Eurasian and North American strains (WOAH, March 2023). Along with the outbreaks in avian species, the HPAIV H5N1 virus spillover to mammals continue to be reported. A mass mortality event of more than 3,000 sea lions was observed in early 2023 in Peru (Gamara-Toledo 2023). These viruses belong to the HPAI A/H5N1 lineage 2.3.4.4b and are 4:4 reassortant, where PA, HA, NA and MP belong to Eurasian lineage that initially entered North America from Eurasia and remaining PB2, PB1, NP and NS came from American lineage that was already circulating in North America (Leguia et al 2023, Biorxiv). As reported by Leguia et al (Biorxiv 2023) these viruses do not enquire mutations linked to mammalian host adaptation and enhanced transmission (such as PB2 E627K or D701N), but at least 8 novel polymorphic sites were found in their genome. Occurrence of the H5 virus in unusual host was also described in sea lion in Chile. Three human infections caused by avian influenza A(H5) have been reported: the first in the United States of America, reported in April 2022; the second in Ecuador, reported in January 2023; and third in Chile in April 2023. The epidemiological situation will be discussed in more detail during the presentation.

In general, virus evolution and host adaptation mechanisms are caused by the antigenic drift and antigenic shift of the virus. There are many host factors that limit AIV replication in humans, including host cell surface receptor, sialic acid (SA). Generally, AIV prefers to bind α2,3 SA, while human influenza viruses prefer to bind α2,6 SA. To achieve efficient and stable transmission between humans, AIV would need to switch binding preference from α2,3 SA to α2,6 SA via amino acid substitution at the RBS of HA1. According to published studies, H5N1 could potentially establish persistent human-to-human and full airborne transmission via Q226L, N224 or G228S mutations in the HA gene. However, current natural H5N1 and its variants have been reported to preserve dominant binding to α2,3 SA, showing that only partial adaptation to α2,6 SA has occurred. Another interesting and known mutation is E627K in the PB2 that interacts with a host protein, acidic nuclear phosphoprotein 32 family member A (ANP32A). This mutation support replication efficiency in mammalian cells. More examples of adaptational mutations and analysis of the current influenza strains obtained from mammals will be discussed during the talk.

COMO MEJORAR EL DESEMPEÑO DE SU MÁQUINA INCUBADORA MULTIETAPA

Armando Medel De Gante
Director Servicio Técnico Latinoamérica. Emtech Hatchery Systems
armando.medel@emtech-systems.com

Las maquinas incubadoras multietapa son las mas comunes dentro de la industria avícola contemporánea, aunque en este momento no son las mas vendidas, el remanente de máquinas en el mercado, hace que su importancia sea relevante.
Razón por la cual siguen siendo una opción para la producción de pollitos de un día y los fabricantes crean tanto actualizaciones en controles como de aditamentos para su mayor eficiencia, aunque no en todos los casos. Existen en el mercado latinoamericano 3 tipos de máquinas de etapa múltiple: 1) Tipo Chick Master pasillo central de estantería fija. 2) Tipo Jamesway de túnel, carritos con volteo neumático. 3) Tipo Petersime ventilador central, con carritos enganchados a un volteo neumático o eléctrico.

Tipo Chick Master de estantería fija, es posiblemente la única maquina realmente "worry free" (libre de preocupaciones) en el mundo, ya que, sin importar las condiciones tanto de instalación como de operación, siempre y cuando esté funcionando con los parámetros de la maquina recomendados por las casas genéticas y todos sus elementos estén trabajando, aunque no en condiciones óptimas, dará pollos/pollitas/pavitos con relativos resultados aceptables tanto en calidad como en nacimiento. Las cargas parciales son su principal problema, y peores aun cargas no realizadas, sin embargo, es la máquina que siguiendo unas reglas muy simples es posible trabajar bajo estas condiciones. Incluso con cargas de entre el 50% de capacidad (para pollo de engorde y pavo) y 2/3 partes de capacidad (en polla ligera) puede ser cargada como etapa única sin ninguna alteración (teniendo al menos agua fría controlada). El ser la máquina de etapa múltiple mas extensamente fabricada e instalada en Latinoamérica, es la que mayores mejoras tiene disponibles en el mercado, hay opciones desde actualizar su control, mejorar su flujo y su capacidad de enfriamiento para usar una temperatura menos fría y reducir la condensación de agua en los serpentines, hasta convertirla en una máquina de etapa única.

Tipo Jamesway de túnel, es posiblemente la maquina mas barata en el mercado en cuanto a operación, mantenimiento y consumo de energía, puede dar resultados muy parecidos a etapa única cuando se cargan lotes con un tamaño menor a las 45 semanas en pollo de engorde(si no es que iguales tanto en % como calidad), sin embargo es la mas estricta en cuanto a mantenimiento y procesos de carga, no se pueden cometer errores en esta maquina por que el resultado puede ser fácilmente convertido en un desastre, y es muy complicado cargarla de manera parcial y peor aun con cargas parciales, ya que tiene un balance de cargas muy frágil, esto hace que para tener buenos resultados el incubador debe ser altamente calificado y detallista, de lo contrario los resultados son muy inconsistentes.

Tipo Petersime, Aunque no es muy común en Latinoamérica (salvo Brasil) es una maquina muy popular en el mundo, una de la más vendida combinando sus dos opciones en etapa única y múltiple, básicamente es la misma máquina de etapa única, sin menos potencia de enfriamiento y calentamiento, es probablemente la más fácil de convertir a etapa única y solo así es factible cargarla de manera parcial, como etapa múltiple al igual que la de túnel, se rompe muy fácil con el balance de temperaturas aunque omitir cargas es mucho menos compleja que la Jamesway, ambos casos son factibles, pero no recomendables.

En esta platica hablaremos de los flujos de aire en cada caso, ya que es la principal razón de como se comportan, sobre todo con cargas parciales, y que hacer en cada caso, para obtener el máximo resultado. o no afectarlo tanto. Las cargas parciales y omisiones de cargas en muchos casos ni siquiera se mencionan en los manuales, económicamente no es factible cargar una maquina con menos del 50% de capacidad y esto en cuanto a control hace que se incremente la oscilación de temperaturas en la masa de huevo.

Referencias

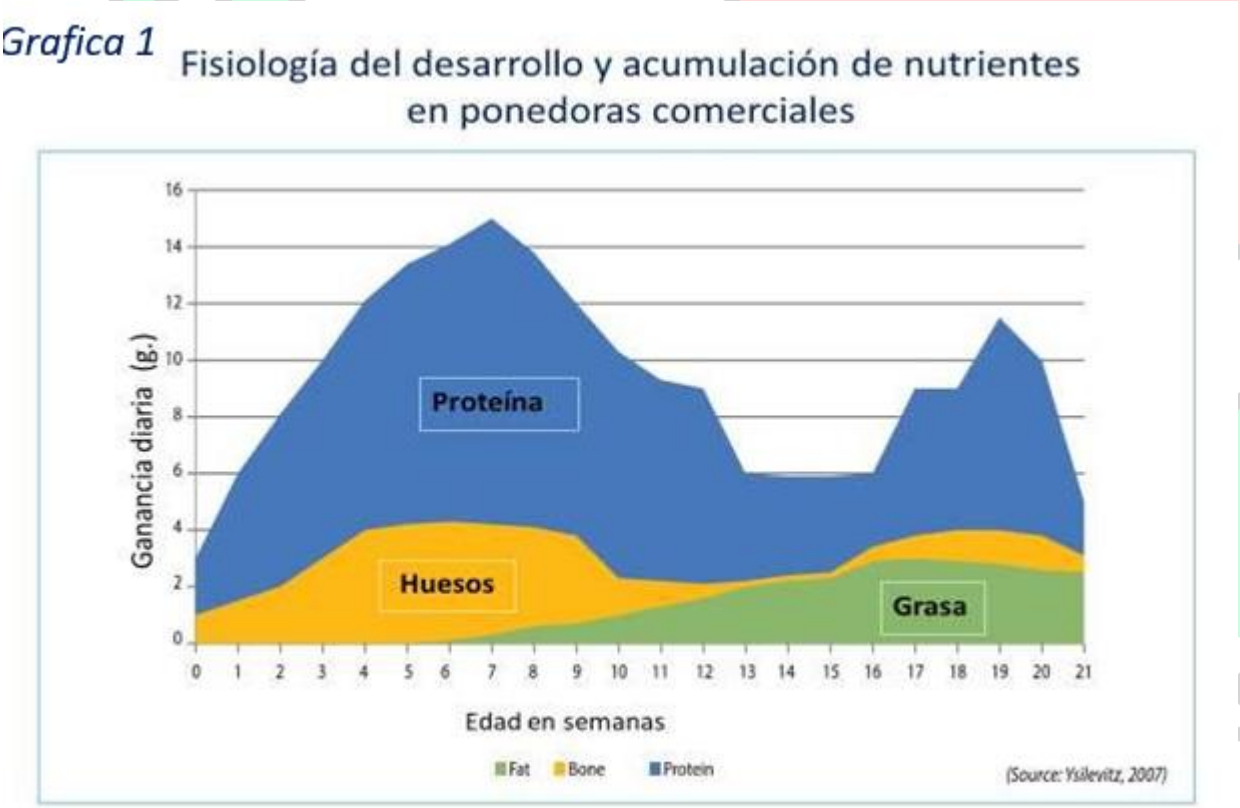
[1] Manual de operación Chick Master
[2] Manual de operación JamesWay BJ-SJ
[3] Manual de operación Petersime multietapa

ACTUALIZACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES EN GALLINAS PONEDORAS DE CICLO PRODUCTIVO LARGO

Guillermo Díaz Arango

Las casas genéticas hoy están incentivando a los avicultores a llevar a sus aves a 90 e incluso a 100 semanas y han dedicado esfuerzos técnicos y económicos para seleccionarlas para que sean productivas en estos ciclos largos; por lo que el reto que nos plantea la genética hace que los técnicos dedicados a la nutrición en sinergia con los manejadores de granja sumemos esfuerzos para lograr que las aves expresen su potencial genético y si bien la biología de la gallina no ha cambiado; la extensión de su vida productiva útil nos plantea algunos retos para satisfacer sus necesidades, no solo en términos de nutrición, sino también de espacio, luminosidad, microclima y bienestar.

En la gráfica 1, podemos observar el comportamiento de la acumulación de nutrientes en las diferentes etapas de cría, recría y desarrollo de las ponedoras, la cual, si bien sigue siendo vigente a pesar de los desarrollos genéticos, si amerita algunos ajustes para poder lograr el reto de tener aves longevas y productivas.
Aunque el reto no es únicamente para los técnicos en nutrición, trataré de abordar el tema desde este ángulo, no sin antes destacar la importancia que tienen el manejo de las aves, los planes de bioseguridad y sanidad y la calidad de los ingredientes utilizados para poder lograr los resultados sean eficientes y económicamente viables.



Me parece muy importante abordar este tema con datos muy recientes y es por eso que voy a utilizar una serie de datos extraídos de la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA), no solo por su actualidad, sino también por su seriedad, por lograr fusionar la investigación académico-científica, con las experiencias de industria privada y por haberse convertido en una fuente de referencia seria sin sesgo, al servicio de los técnicos en nutrición y por ser capaces de lograr llevar la nutrición científica al grado de nutrición aplicada para ser usada por todos los técnicos agropecuarios; apoyados también en datos muy actuales publicados también

en las Tablas Brasileras de Nutrición Animal edición 2017que hace varios años viene compilando, editando y co-investigando el Dr Horacio Rostagno de Brasil.

1. Nutrición de Pollitas y Pollonas

CRIA (nacimiento a 5 semanas de vida): esta es quizá una de las etapas más importantes de la futura ponedora, es la etapa en donde se desarrolla la mayor parte del aparato digestivo y el sistema inmune. El peso logrado a la semana 5 tiene gran influencia sobre la mayoría de los parámetros productivos del ave durante toda la vida. El objetivo de esta fase es que se logre el peso solicitado por la línea genética con una uniformidad superior al 85% y esto se puede lograr con un buen manejo de la calefacción e iluminación, facilitando el acceso rápido de la pollita al alimento para que se logre un buen desarrollo de las microvellosidades intestinales. Utilizar un alimento en gránulos alto en proteína y energía facilita el logro del objetivo.

En la tabla 1., se reporta la comparación sobre las necesidades nutricionales en términos de proteína ideal y EM de pollitas durante la etapa de cría (0 – 5) semanas reportadas por varios autores y casas de investigación; es importante comparar los cambios entre las fuentes iguales citadas para notar el ajuste en algunos niveles de nutrientes. Para el caso de FEDNA 2008 -2018 hay algunas variaciones, en aminoácidos, EM y además se reporta la necesidad del equivalente de glicina, que va en función del nivel de serina.

Tabla 1. Balance de Proteína ideal de pollitas Brown* (0-5 semanas) (aminoácidos digestibles)

	FEDNA (2008)	NRC (1994)	Leeson y Summers (2012)	Rostagno et al. (2017)	FEDNA (2018)
EMAn, kcal/kg	2.920	2.800	2.900	2.850	2.950
Lisina digestible, %	0,95	0,80	1,10	1,14	0,98
Proteína ideal, % Lisina					
Metionina	43	35	-	41	44
Metionina+cisteína	73	73	-	74	75
Treonina	66	80	65	67	66
Triptófano	19	20	18	18	19
Isoleucina	67	71	64	71	68
Valina	82	73	68	76	75
Arginina	106	118	105	107	105
Leucina	106	129	118	112	107
Gly equiv.[1]	-	82	-	125	110

*Ponedoras Blancas en estirpes de bajo consumo, incrementar valores hasta en un 7% con media ideal entre 2-4%
Fuente: Normas FEDNA Noviembre de 2018

Si bien, en este artículo se reportan datos en su mayoría para las ponedoras rubias o brown, el método de cálculo factorial para calcular en particular las necesidades energéticas está en función del peso vivo, la ganancia de peso y la desviación de la temperatura de confort, para al caso de las ponedoras blancas de baja ingesta, FEDNA sugiere incrementar la concentración de nutrientes y de energía metabolizable hasta en un 7%, con una media ideal entre 2-4%.

RECRIA (6 -10 semanas de vida): en este periodo la pollita tiene unas necesidades nutricionales intermedias entre la cría y el desarrollo en la que el cambio de alimento debe hacerse según el peso y desarrollo corporal y puede ser ya suministrado en harina, ojalá de granulometría gruesa para empezar a agrandar el tracto digestivo, buscando que la molleja cumpla su función de órgano de molienda. Es muy importante comentar que, en esta etapa el plan de iluminación debe adaptarse a los objetivos de peso y consumo, ya que el logro de los objetivos de peso y uniformidad, deben lograrse con ingesta de alimento y no con concentración de nutrientes como sucede en la mayoría de los casos, en la que, al revisar el plan de iluminación, las aves no necesitan la concentración de nutrientes, sino que más bien necesitan unas horas más de luz para poder consumir su ración diaria.

DESARROLLO (11 – 15/17 semanas de vida)
En esta etapa debe maximizarse el desarrollo del tracto digestivo; deben utilizarse alimentos con granulometría gruesa y ojalá con la inclusión de fibra insoluble, bajos en EM y proteína; los objetivos básicos son lograr el peso y la uniformidad además del nivel de consumo que nos tranquilice para el arranque de producción. En la tabla 2. se reportan los requerimientos nutricionales para dicha etapa y la comparación sobre las necesidades nutricionales en términos de proteína ideal y energía metabolizable (EM) de pollonas durante la etapa de desarrollo (10-17) semanas reportadas por varios autores y casas de investigación. Aquí pueden notarse las diferencias entre la escuela europea (EM bajas-FEDNA) y la americana (EM altas NRC, Leeson, Rostagno), lo anterior puede suceder, debido a que en Europa hay abundancia de ingredientes más altos en fibra y más bajos en energía metabolizable, ingredientes que abundan en otras latitudes, por lo que los técnicos en nutrición a través de los años han tenido que aprovechar dichas fuentes.

Tabla 2. Balance de Proteína ideal de pollitas Brown* (10-17 semanas) (aminoácidos digestibles)

	FEDNA (2008)	NRC (1994)	Leeson y Summers (2012)	Rostagno et al. (2017)	FEDNA (2018)
EMAn, kcal/kg	2.740	2.825	2.800	2.850	2.740
Lisina digestible, %	0,55	0,50	0,75	0,58	0,56
Proteína ideal, % Lisina					
Metionina	48	44	47	45	47
Metionina+cisteína	86	91	84	82	84
Treonina	75	90	80	69	72
Triptófano	23	24	20	22	22
Isoleucina	70	86	68	77	71
Valina	79	88	87	80	77
Arginina	107	144	115	108	106
Leucina	108	148	122	125	110
Gly equiv.[1]	-	100	-	106	105

*Ponedoras Blancas en estirpes de bajo consumo, incrementar valores hasta en un 7% con media ideal entre 2-4%
Fuente: Normas FEDNA Noviembre de 2018

En la tabla 3. se reportan las proporciones de aminoácidos digestibles y recomendaciones de proteína ideal de pollitas brown para las etapas de cría, recría y desarrollo, tomando en cuenta las recomendaciones de FEDNA publicadas en noviembre de 2018

Los investigadores europeos reportan que no existen publicaciones recientes que muestren diferencias notables en las necesidades nutricionales entre ponedoras brown y blancas A igualdad de peso y edad. En ponedoras blancas Caracterizadas por producciones de masa de huevo similares y menores necesidades de conservación por su menor peso vivo y sí ciclos posiblemente más largos que las ponedoras brown se estima conveniente incrementar los contenidos de aminoácidos y macrominerales en un 2-4% en relación con lo indicado en estas tablas.

Tabla 3. Proteína ideal de pollitas Brown Cría, Recría y Desarrollo (aminoácidos digestibles)

	Pollitas de recría			Puesta
	0-5 sem	5-10 sem	10-17 sem	≥ 17 sem
Lisina	100	100	100	100
Metionina	44	45	47	50
Metionina+cisteína	75	80	84	88
Treonina	66	68	72	70
Triptófano	19	20	22	21
Isoleucina	68	70	71	80
Valina	75	76	77	89
Arginina	105	105	106	104
Leucina	107	109	110	115
Gly equiv.[1]	110	106	105	-

[1]Glicina equivalente = Gly (%) + 0,7143 Ser (%)

*Ponedoras Blancas en estirpes de bajo consumo, incrementar valores hasta en un 7% con media ideal entre 2-4%
Fuente: Normas FEDNA Noviembre de 2018

En la tabla 4. se reportan los requerimientos nutricionales completos para las diferentes etapas de las pollitas y pollonas brown reportados por FEDNA en noviembre de 2018, incluyendo minerales grasa, fibra y sal.

PREPOSTURA (16 – 18 semanas de Vida): esta es una de las etapas más importantes de la vida de la ponedora para logar ciclos productivos largos; en ella empieza la madurez sexual y se consolida el desarrollo del hueso medular, el cual comienza en los días antes del primer huevo, controlado por los estrógenos. Este hueso no se encuentra en los machos, ni en las aves fuera de postura; el hueso medular rellena las cavidades de los huesos largos como patas, alas y esternón; representa un 12 % del total de los huesos de una ponedora y es la fuente disponible rápida de calcio para la formación de la cáscara. Algunos investigadores han sugerido la no utilización de este alimento, y pasar de una vez a la semana 17 o 18 al alimento de producción; esto podría hacerse sin mayores problemas, solo si se garantiza que los consumos de alimento van a ser asegurados. En caso de usarse, este alimento, deberá contener un nivel intermedio de calcio (2,2 – 2,7% de Ca), un nivel de fibra parecido al del alimento de desarrollo y además deben incrementarse los niveles de grasa, fósforo disponible, EM y aminoácidos buscando homogenizar el lote y lograr un buen arranque de producción.

AVEM
Aviespecialistas de México

Tabla 4. Recomendaciones nutricionales para pollitas brown durante Cría, Recría y Desarrollo

	Edad, semanas	0-5[1,2]	5-10[2]	10-17
EMAn	kcal/kg	2.960	2.820	2.730
Grasa añadida	%	2,0	≥ 1,0	≥ 1,0
Ácido linoleico	%	0,9	0,8	0,7
Fibra bruta, mín.-máx.	%	3,3-4,2	3,6-5,8	4,0-6,4
Proteína bruta	%	18,8	16,7	15,0
Aminoácidos digestibles				
Lisina dig.	%	0,98	0,76	0,55
Metionina dig.	%	0,43	0,34	0,26
Metionina+cisteína dig.	%	0,74	0,61	0,46
Treonina dig.	%	0,65	0,52	0,40
Triptófano dig.	%	0,19	0,15	0,12
Isoleucina dig.	%	0,67	0,53	0,39
Valina dig.	%	0,74	0,58	0,42
Arginina dig.	%	1,03	0,80	0,58
Calcio, mín.-máx.	%	0,9-1,0	0,8-0,95	0,75-0,85
Fósforo total[4]	%	0,62	0,49	0,48
Fósforo disponible	%	0,43	0,40	0,37
Fósforo digestible	%	0,38	0,34	0,32
Sodio	%	0,19	0,17	0,15
Potasio, mín.-máx.	%	0,5-1,2	0,50-1,15	0,48-1,10
Cloro, mín.-máx.	%	0,15-0,3	0,15-0,31	0,15-0,32
Colina total	mg/kg	1.260	1.230	1.200
Colina añadida[5]	mg/kg	240	210	190
Sal, mín.	%	0,31	0,29	0,26

[1]Es recomendable suministrar un pienso más fuerte en Lys digestible (1,08%) y resto de aminoácidos en forma de migas durante las dos primeras semanas de vida cuando se precise mejorar la uniformidad del lote
[2]No cambiar al siguiente pienso si no se alcanza un peso vivo o una uniformidad por encima de las recomendaciones de la empresa de genética

*Ponedoras Blancas en estirpes de bajo consumo, incrementar valores hasta en un 7% con media ideal entre 2-4%
Fuente: Normas FEDNA Noviembre de 2018

2. Nutrición de ponedoras en producción:
En la tabla 5. se reportan los últimos requerimientos de proteína ideal para la etapa de producción reportados por las principales líneas genéticas de gallinas ponedoras; es importante comentar que la fase de producción en las líneas modernas puede empezarse muy temprano y su arranque, no depende únicamente de la nutrición, peso corporal o desarrollo de las aves, puede deberse también a factores, entre los que se incluye la luz en términos de intensidad y duración del fotoperiodo. Al momento del arranque de producción debemos procurar que las aves tengan la mayor uniformidad posible, que hayan logrado los objetivos de peso sin excederse ojalá no más de un 5% ya que las necesidades nutricionales se dan en función del peso corporal por lo que aves sobrepesadas al arranque de producción o están engrasadas o tendrán unas necesidades más altas de nutrientes, lo que afectaría el costo de producción. Debemos también procurar que los requerimientos de los animales sean cubiertos con ingesta de alimento y no con concentración de nutrientes, ya que, si elegimos la segunda opción, lo más seguro es que nuestras aves presenten "la crisis de las 18 a las 25 semanas" provocando pérdidas económicas.
La fase más importante de producción es el arranque o inicio de producción; en esta fase se hace imperante el logro de consumos lo más cercanos a 100 gramos ave día para que las aves cumplan sus objetivos. Si durante el desarrollo se utilizó el alimento con la granulometría adecuada y con un nivel de fibra arriba del 3,5%, es muy probable que los consumos puedan lograrse y con ello satisfacer las altas necesidades de nutrientes de esta etapa

Recomendaciones sobre Granulometría:
Este es un factor clave de éxito importante en la producción de huevos, de su buen manejo depende que se logren los resultados en cada etapa; las recomendaciones para la granulometría en ponedoras son:

Etapa de Cría (0-5 semanas)
Alimento micro granulado o peletizado quebrado con tamaño de partícula entre 700 – 850 micrones
Etapas de Recría, Desarrollo y producción:
Debe sunistrarse alimento en harina con molienda gruesa con tamaño de partículas entre 500 – 3.200 micrones. Un buen alimento para estas etapas debe contener mínimo entre 75 a 80% de partículas en ese rango. Debe tenerse en cuenta que, en latitudes en donde el calor sea riguroso como en el trópico o en verano en las zonas con estaciones, debe usarse molido grueso o aglomerado durante las fases de extremo calor, para que las aves logren su consumo diario de nutrientes.

Requerimientos específicos de nutrientes:
Necesidades de Fibra: las necesidades específicas de fibra no se han determinado con certeza, hace unos años usar niveles de fibra elevados en la alimentación de aves eran sinónimo de malos resultados; hoy con el sometimiento a altos niveles de estrés a las ponedoras, hacen de la fibra un nutriente muy importante para mejorar el comportamiento de las aves, el emplume, calidad de camas y disminuir el picaje y la mortalidad.
Utilizar raciones con niveles de fibra inferiores al 3% genera un efecto negativo sobre la fisiología digestiva y el bienestar del ave. Usar niveles adecuados de fibra nos generan aves tranquilas, fáciles de manejar, camas y deyecciones más secas, y una menor formación de amoníaco; además de mejorar la microbiota intestinal, generando un efecto bifido-estimulante, lo que ayudaría a controlar flora patógena como E. Coli, Clostridium y *Salmonella*. Un exceso de fibra puede provocar también una baja en el consumo de alimento. Los niveles de fibra recomendados por FEDNA oscilan en la etapa de producción entre el 3,5 y el 5,3%

Necesidades de Acido Linoleico y Grasa adicionada: en general cuando se busca producir huevos de gran tamaño, se recurre a niveles altos de ácido linoleico o por lo menos por encima de las recomendaciones mínimas (1,3%). Usar niveles inferiores a 1,3% no permiten maximizar el tamaño del huevo. Lo que sucede cuando se busca aumentar el tamaño del huevo y se piensa en el ácido linoleico, normalmente hay que adicionar grasa y a veces el efecto de la grasa adicionada es confundido con el incremento de a. Linoleico. Cuando se busca incrementar el tamaño del huevo se debe adicionar entre un 3 a 4% de grasa preferiblemente como aceite vegetal. Con niveles entre 1,3 y 1,5% de acido linoleico, no deberían tenerse problemas para lograr los pesos de huevo deseados.

Necesidades de Energía EM:
FEDNA recomienda para el cálculo de las necesidades de energía para las ponedoras la siguiente ecuación:

$$EM\ (Kcal/Kg) = (125 \times PV0{,}75) + 5 \times GMD + 2 \times MH$$

Donde GMD: ganancia media diaria - MH: masa de huevo – PV: peso vivo

Esta ecuación ha venido siendo utilizada por mas de 10 años con excelentes resultados para dicho calculo; así como también las diseñadas y difundidas por Sakomura y Rostagno reportadas en las tablas brasileras para nutrición animal de los años 2007 y 2017. En el cálculo y la utilización de la energía, debe tenerse en cuenta, que en ponedoras comerciales, este requerimiento está directamente influenciado por la temperatura y humedad del alojamiento y por el nivel de emplumamiento de las aves; un 60% de la energía es utilizado para el mantenimiento corporal, un 3% para ganancia de peso y entre un 37 y un 40% para producción y masa de huevo, y por lo que es facil concluír, que si las aves no están en confort térmico, no lograrán niveles de producción o pesos de huevo optimos, ya que una parte de la energía se gastaría para compensar el estrés térmico.

Correcciones de energía por Termorregulación:
Debe corregirse 2 Kcal/Kg de PV/día por cada °C por encima o por debajo de 21 °C (Rango entre 15 – 30 °C)

Crecimiento o ganancia de peso: 5 Kcal/g de GMD (ganancia media día) en otras palabras "se necesitan 5 Kcal para la producción de 1 gramo de carne"

Producción de huevos: 2 Kcal/ g de huevo

"se necesitan 2 Kcal para la producción de 1 gramo de huevo"

Tabla 5 Balance de Proteína ideal de ponedoras Brown en producción según casas genéticas (aminoácidos digestibles)

	Hisex (2014)	Lohmann (2017)	H&N (2017a)	Hy-Line (2017)	ISA Brown (2017)	Novogen (2017b)	Bovans (2017)	Tetra (2017)	FEDNA (2018)
EMAn kcal/kg	2.750	2.760	2.750	2.800	2.800	2.850	2.800	2.800	2.750
Lisina digestible, %	0,75	0,65	0,65	0,73	0,78	0,74	0,74	0,68	0,74
Proteína ideal, % Lisina									
Metionina	50	51	50	49	53	55	53	53	50
Metionina+cisteína	85	92	92	86	85	85	82	88	88
Treonina	71	69	70	70	69	73	66	69	70
Triptófano	22	21	22	20	22	21	22	21	21
Isoleucina	88	80	80	78	90	94	91	81	80
Valina	95	88	88	88	96	100	97	81	89
Arginina	-	105	105	104	126	-	125	104	104
Leucina	-	-	-	-	-	-	-	-	115

[1]Valores similares, en la mayoría de los casos, para aves blancas.

Fuente: Normas FEDNA Noviembre de 2018

En la tabla 6. se reportan los últimos requerimientos de proteína ideal para la etapa de producción reportados por las principales instituciones y centros de investigación, basados en lisina digestible.
Es importante comparar los cambios y ajustes a algunos requerimientos reportados por FEDNA durante los últimos 10 años

Tabla 6 Balance de Proteína ideal de ponedoras Brown etapa de producción según instituciones y centros de investigación (aminoácidos digestibles como % de Lys dig.)

	FEDNA (2008)	NRC (1994)	Bregendahl et al. (2018)	Lemme (2009)	Leeson y Summers (2012)	Klein (2013)	Rostagno et al. (2017)	CVB (2018)	FEDNA (2018)
Lisina digestible, %	0,67	0,69	0,68	0,75	0,70	0,66	0,78	0,69	0,74
Proteína ideal, % Lisina									
Metionina	49	43	47	50	52	47	54	55	50
Metionina+cisteína	87	85	94	91	87	83	98	88	88
Treonina	70	68	77	70	80	64	77	70	70
Triptófano	20	23	22	21	21	21	23	22	21
Isoleucina	85	94	79	80	79	75	78	80	80
Valina	98	101	93	89	89	100	93	78	89
Arginina	110	101	107	105	103	103	100	-	104
Leucina	108	118	-	-	61	-	122	116	115

Fuente: Normas FEDNA Noviembre de 2018

En la tabla 7 se reportan las necesidades de vitaminas y minerales para las ponedoras en producción.

TABLA 7. Recomendaciones prácticas de Vitaminas y Minerales ponedoras Brown

		0 a 5 sem		6 a 17 sem		Ponedoras	
		Recom.	Rango	Recom.	Rango	Recom.	Rango
Vitamina A	10^3 UI	10	8-10	8	7-10	9,0	8-10
Vitamina D3	10^3 UI	2,8	2,2-3,2	2,5	1,7-2,7	3,0	2,1-3,2
Vitamina E	UI	19	10-22	15	10-18	13	8-20
Vitamina K3	mg/kg	2,7	2,2-3	2	1,8-2,6	1,7	1,4-2,1
Tiamina (B1)	mg/kg	1,5	1-2	1,1	0,7-2	1,0	0,4-1,5
Riboflavina (B2)	mg/kg	5,0	3-7	4,2	2-6	4,0	4-6
Piridoxina (B6)	mg/kg	2,3	1,8-2,6	1,8	1,5-2,5	1,8	1,5-3
Cobalamina (B12)	µg/kg	15	12-16	10	8-12	10	9-15
Ácido fólico	mg/kg	0,6	0,5-1,1	0,3	0,3-0,6	0,3	0,2-0,6
Niacina	mg/kg	30	25-35	22	15-25	20	18-35
Ácido pantoténico	mg/kg	9	6-11	7	5-8	8	7-10
Biotina (H)[2]	µg/kg	75	50-105	40	30-80	50	35-80
Colina	mg/kg	240	150-300	100	75-220	200	150-250
Hierro	mg/kg	40	35-50	35	35-45	32	25-40
Cobre	mg/kg	8	5-10	7	6-8	7	5-9
Cinc	mg/kg	62	50-70	55	40-60	65	50-70
Manganeso	mg/kg	80	60-85	65	50-70	85	70-100
Selenio	mg/kg	0,35	0,2-0,36	0,35	0,2-0,35	0,35	0,3-0,35
Yodo[3]	mg/kg	0,6	0,5-0,9	0,5	0,4-0,8	0,7	0,4-1,0

Fuente: Normas FEDNA Noviembre de 2018

Necesidades de sal:
Las necesidades de sal en el tiempo han sido atadas a los demás electrolitos, manejados como un balance entre ellos llamado "Balance Electrolítico" y si bien este sistema ha sido muy útil, el manejo no adecuado de este sistema ha provocado problemas de diarreas e incremento en la velocidad de paso del bolo alimenticio por el tracto digestivo; el error que se comete más frecuentemente es el de olvidar que laos animales tienen requerimientos específicos de sal como cloruro de sodio, y no únicamente como requerimientos de cada electrolito por separado, lo que los ha llevado a usar fuentes individuales de Na, K o Cl para corregir dicho imbalance, dejando de un lado el nivel de sal adicionado.
En la tabla 8 se reportan los niveles mínimos de sal adicionada como niveles mínimos para corregir dichos problemas y estos van desde 0,28% en la etapa de inicio de producción hasta 0,24% en las etapas finales de producción de huevos

AVEM
Aviespecialistas de México

Necesidades de grasa añadida:
Este se refiere a la cantidad grasa que se adiciona a la ración, no a la calculada como nutriente. Esta grasa adicionada tiene gran importancia para el manejo de un hígado saludable muy necesario para la larga vida de la ponedora y para evitar o retardar la presentación del hígado esteatosico y disfuncional, además que mejora de manera directa el peso del huevo; como se mencionó anteriormente, su adición en los niveles recomendados, incrementa el tamaño del huevo, situación que antes se le atribuía de manera errónea al incremento del ácido linoleico, el cual se incrementa a la vez que se aumenta el nivel de inclusión de aceite a la ración.

Los niveles óptimos de adición de grasa se reportan en la tabla 8. y oscilan entre un 3,2% en las etapas iniciales de producción, 3% en las etapas intermedias y con un 1,5% en las etapas finales; esta disminución en el nivel de inclusión se debe a que al final del ciclo, disminuir el tamaño del huevo es una medida imperante por sanidad, para evitar el incremento de mortalidad por prolapsos.

Referencias

- NECESIDADES NUTRICIONALES PARA AVICULTURA - NORMAS FEDNA, Segunda Edición, 22 y 23 de noviembre 2018; Editor: FUNDACION ESPAÑOLA PARA EL DESARROLLO DE LA NUTRICIÓN ANIMAL, Improtalia S.L., Madrid, España
- Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos, Composición de Alimentos y Requerimientos Nutricionales 4ª Edición; Editor: Horacio Santiago Rostagno, Universidad Federal de Viçosa, Departamento de Zootecnia - Brasil 2017.
- LEESON, STEVEN, and SUMMERS JOHN D.; COMMERCIAL POULTRY NUTRITION (third edition), Department of Animal and Poultry Science, University of Guelph, University Books, Guelph, Ontario, Canada 2005

AVEM
Aviespecialistas de México

ENZIMAS EXÓGENAS: UN NUEVO ENFOQUE

Otto Mack Junqueira
Universidade Federal de Goiás

El uso de aditivos en la nutrición animal se viene realizando desde hace varias décadas. Actualmente, muchos de ellos se utilizan de forma rutinaria. Entre estos aditivos de real importancia destacan las enzimas.
La eficiencia de la producción animal se ha incrementado decididamente, debido a los nuevos descubrimientos realizados en el campo de la alimentación y nutrición animal. Fueron estos descubrimientos los que revolucionaron muchos conocimientos y teorías del pasado. Los piensos que hace unos años se consideraban ideales ahora pueden mejorarse radicalmente gracias a estos nuevos descubrimientos en el campo tecnológico con aplicaciones directas en el campo de la nutrición.

La mayor preocupación por parte de los nutricionistas es aumentar la digestibilidad de los alimentos, con la consiguiente mejora en la conversión alimenticia. Sin embargo, existe la necesidad de que el tracto digestivo sea capaz de absorber los nutrientes de la manera más eficiente posible, y para ello se han realizado numerosos estudios en un intento de proporcionar la llamada salud intestinal. Hay que reconocer que cada día que pasa se introducen en el mercado enzimas o mezclas de enzimas, al alcance de los nutricionistas, con mayor eficacia para favorecer la digestión de los alimentos. Además, el costo de producción de alimentos con la adición de enzimas se ha vuelto más atractivo y su uso se ha vuelto rutinario en las formulaciones. Sin duda, el uso de aditivos constituye un gran avance en el campo de la nutrición aplicada.
Los procesos de digestión de los alimentos son siempre a través de enzimas liberadas en el estómago y el intestino delgado. Las enzimas digestivas que hidrolizan proteínas se denominan proteasas y se sintetizan como zimógenos inactivos en el estómago y el páncreas. La enzima pepsina digiere las proteínas en el ambiente ácido del estómago y la quimotripsina y la tripsina en el intestino delgado. Algunos alimentos, como el triticale, el trigo, el centeno y la cebada, no son bien aprovechados, ya que contienen una importante fracción fibrosa - polisacáridos estructurales no amiláceos -, que no es hidrolizada por las enzimas digestivas de los animales monogástricos, en particular cerdos y aves. En las aves, la enzima α-amilasa salival, o ptialina, actúa sobre los enlaces de tipo alfa 1,4 en el almidón, una actividad neutralizada por el bajo pH del estómago. La α-amilasa pancreática también digiere el almidón en el intestino para producir glucosa, maltosa y maltotriosa.

El uso de enzimas exógenas en la alimentación avícola ha sido estudiado con el objetivo no solo de incrementar el aprovechamiento del alimento, favoreciendo la hidrólisis de factores antinutricionales, de polisacáridos no amiláceos, sino también de reducir la viscosidad de la digesta. Se encontraron respuestas positivas en el uso de la enzima fitasa como forma de mejorar el aprovechamiento del fósforo. También se han utilizado enzimas con el objetivo de incorporar materias primas de baja calidad a los piensos y mejorar el uso de los ingredientes, proporcionando así una reducción del impacto ecológico de los desechos avícolas. Los PNA son polímeros de azúcares simples y, debido a sus enlaces, son resistentes a la hidrólisis en el tracto gastrointestinal de los monogástricos. Forman parte de la pared celular y consisten principalmente en pentosa, rafinosa y estaquiosa que se encuentran en las semillas oleaginosas, betaglucanos en la cebada y la avena, y pentosanos y arabinoxilanos que se encuentran en el trigo, el triticale y el centeno. Para reducir efectivamente el costo de los alimentos, incluso con la adición de un complejo enzimático exógeno, se deben considerar factores tales como la relación entre las enzimas utilizadas, los sustratos del alimento, los aumentos esperados en la digestibilidad de los nutrientes y los aspectos de la formulación del alimento.

Es de suma importancia que el uso de las enzimas fitasa y carbohidrolasa provoque una reducción del costo de los alimentos, especialmente de la grasa adicional como fuente de energía y del fosfato dicálcico como fuente de fósforo.

ACTUALIZACIÓN SOBRE NUEVOS ESTUDIOS EN MICROMINERALES

Otto Mack Junqueira
Universidade Federal de Goiás

Los microminerales u oligoelementos, particularmente zinc, cobre, manganeso, hierro, yodo y selenio, son extremadamente importantes en la nutrición de las aves. Constituyen cofactores de cientos de enzimas celulares, actúan en el desarrollo de la respuesta inmune, la integridad ósea y de todos los tejidos, en los procesos oxidativos del organismo, además de jugar un papel importante en el crecimiento y división celular. Una deficiencia de uno o más microminerales puede afectar numerosas reacciones bioquímicas, afectando el desempeño productivo de las aves.

Los nutricionistas intentan, de la mejor manera posible, establecer niveles de microminerales para que las aves puedan expresar al máximo su potencial genético. Una ración adecuada en todos los nutrientes ha sido la base para la evolución del rendimiento de nuestros rebaños, principalmente en producción y calidad de huevo.

Todos los alimentos para aves se complementan con microminerales en sus formas inorgánicas (sulfatos, óxidos, yodatos, selenitos) y/o en las denominadas formas orgánicas o queladas, unidas a un aminoácido y/o polipéptido.

Es importante recalcar que el principal objetivo de utilizar un mineral orgánico es que se absorba ligado a la molécula orgánica original. Si se produce una separación, estos minerales se absorben de la misma forma que los llamados inorgánicos, con la necesidad de encontrar otro portador, es decir, un mineral orgánico siempre debe ser absorbido en presencia del quelante que le dio origen.

A pesar de toda una argumentación técnica a favor del uso de minerales orgánicos, lo que se observa, en la práctica, y en la mayoría de los experimentos publicados, es una pequeña o nula diferencia en el desempeño de las aves alimentadas con las distintas fuentes.

Es fundamental tener sentido común a la hora de decidir el uso de una u otra fuente, teniendo en cuenta el coste de los diferentes ingredientes y su biodisponibilidad real.

AVEM
Aviespecialistas de México

ALTERNATIVES TO ANTIMICROBIAL GROWTH PROMOTERS AND THEIR IMPACT IN GUT MICROBIOTA, HEALTH AND DISEASE

Guillermo Tellez-Isaias[1], Juan D Torre[1], Victor M Petrone-Garcia[2]
[1]University of Arkansas. [2]FES Cuautitlán UNAM

Following the success of the Research Topic "Alternatives to Antimicrobial Growth Promoters and Their Impact in Gut Microbiota, Health, and Disease: Volume II," we received an invitation from Frontiers to work on Volume II. This second volume includes 31 scientific articles, in the text of individual chapters in this Frontiers Research Topic. The editors are grateful to all 197 authors that contributed and participated in the achievement of Volume II.

Homo sapiens reached the supremacy of animal species on our planet and has modified every single ecosystem known so far in a brief period. Without question, agriculture had paramount importance in this process, which eventually led to genetic modifications of domestic animals. Nevertheless, domestic animals' most critical genetic strategies have occurred during the last 60 years. Perhaps one of the most stunning examples is the modern broiler chicken. Today, a 42-g newborn chick increases its body weight by 25% (63 g) in 1 day; and 5,400% by 35 days when it reaches an average body weight of 2,273 grams. These astounding advances result from intense genetic selection, nutrition, health, and management programs.

Nevertheless, to accomplish the production goals, it is essential to maintain the integrity of the gastrointestinal tract (GIT) as the main organ responsible for the digestion and absorption of nutrients. Since feed conversion (the "money saver") represents ~ 70% of the cost of production in poultry and livestock operations, subclinical forms of coccidiosis or necrotic enteritis in poultry are economically more devastating than short acute infections. As the growth period of broiler chickens shortens and feed efficiency continues to improve, health and nutrition programs are more demanding. Mainly because the changes that occur during the development of the intestine are microscopic, thus, generally ignored. Anything that affects gut health will be reflected in the health and productivity of the individual.

With the previous reflections in mind, it is easy to wonder if animal performance may soon meet a genetic and physiological upper limit. In recent years, the term "gut health" has become a standard in scientific literature and the animal production industries. Although the term gut health is vague, scientist agrees that "gut health" includes the ability of the GIT to conduct normal physiological processes and maintain homeostasis, allowing it to survive infections and non-infectious stressors. Without question, the gut is an extraordinary organ. Along with being in charge of water and feed absorption and digestion, the GIT is home to a rich and complex microbial community known as gut microbiota (1). The gut microbiota outnumbers somatic cells by a factor of 10, comprising ~300,000 genes compared to 23,000 in chickens (2, 3).

Moreover, because it contains more neurons than the rest of the peripheral nervous system, the enteric nervous system is known as animals' "second brain" (4). Furthermore, ~80% of the immune cells in the body are found in the gut-associated lymphoid tissue (GALT). The bursa of Fabricius, an essential lymphoid organ for B lymphocytes development and proliferation, is part of the GALT in birds (5). Interestingly, ~80% of plasma cells producing secretory immunoglobulin A (IgA), the most abundant immunoglobulin, are located in the GALT (6).

Enteroendocrine cells (EECs) are found throughout the GIT epithelium and produce several hormones that are involved in a variety of physiological functions such as secretion, absorption, digestion, and gut motility, as well as the pathogenesis of gut mucosa atrophy and cancers both inside and outside the GIT (7). Gastrin, secretin, cholecystokinin, insulin, and glucagon were the first GIT hormones described (8). As of today, over 50 gut hormones and bioactive peptides have been found, confirming that the gut is the body's largest endocrine organ, exhibiting a wide range of endocrinological, neuroendocrine, autocrine, and paracrine functions (9). The enterochromaffin cells, a subpopulation of numerous EECs, are responsible for 90% of the production of the neurotransmitter serotonin (5-hydroxytryptamine), which has a wide range of biological and multifaceted functions, including modulating mood, cognition, reward, learning, memory, reproduction, and numerous physiological processes, such as vomiting, vasodilation, gut motility, wound healing, and

vasoconstriction (10). Surprisingly, the gut microbiota regulates the release of serotonin and other mood chemicals produced by EECs, such as dopamine, oxytocin, and endorphins (11–13). Numerous neurological illnesses such as schizophrenia, depression, Alzheimer's disease, Parkinson's disease, and autism have been connected to the type of microbiota that exists in the gastrointestinal tract (GIT), which has been proven through published studies (14, 15). When it comes to intuition, the classic adage "gut feelings" holds a lot of truth.

It is estimated that 90% of all diseases are caused by chronic inflammation in the intestine (16). The gut microbiota significantly impacts the host's biology, metabolism, nutrition, immunity, and neuroendocrine system (17, 18). These effects are mediated by short-chain fatty acids, gastrointestinal hormones, enteroendocrine, and immune cells (19). GIT motility is controlled by the enteric nervous system and hormonal networks, which is impaired in functional GIT diseases (20). The neuroendocrine network that connects the central nervous system, enteric nervous system, intestinal microbiota, and the GALT has a significant impact on the fragile intestinal epithelial barrier (21, 22). The balance of tolerance and immunity to non-self-antigens is regulated by this barrier, which comprises a single layer of enterocytes with tight intercellular junctions (23). Thus, the integrity of the gut is critical in maintaining a healthy balance between health and disease. Chronic stress, and chronic intestinal inflammation, divert significant biological resources away from development and reproduction to maintain the system in survival mode. Perhaps, a more comprehensive definition of "gut health" must include the harmonic interaction of what is known as the microbiota-brain-gut axis [(17, 24); Chalvon-Demersay et al.].

All biological and physiological processes balance the different microbiomes that live on mucosal surfaces (25). Loss of balance of the GIT microbiota (dysbiosis) in the GIT leads to loss of intestinal integrity (26). Microbes in the small intestine are affected by the ingredients of the diet and the viscosity of gut contents (27).

To meet their health and productivity goals, animal producers that have eliminated antibiotics from their production systems may utilize a combination of alternative products, enhanced management methods, rigorous biosecurity, and successful immunization programs. The absence of Mycoplasma spp. and Salmonella spp. from the genetic lines and the quality of the dietary items are all critical. Stress and inflammation are conditions that induce oxidative stress and lipid peroxidation of vital cellular components such as the cell and mitochondrial membranes. Damage to those organelles compromises cell homeostasis, health, and productivity.

Chronic stress and persistent inflammation are detrimental to modern animal production operations. Any cause of chronic stress, regardless of its origin (biological, physical, chemical, toxic, or psychological), will induce oxidative stress and, if persisted, chronic intestinal and systemic inflammation (28–30).

Researchers might use enteric inflammation models to examine alternative antibiotic growth promoters (AGP) and dietary supplements for livestock including poultry. Hence, our laboratory has developed several intestinal inflammatory models that include nutritional (27), management (31), chemicals (32, 33), and environmental (34). In all these models, a non-terminal approach such as serum fluorescein isothiocyanate-dextran concentration can assess intestinal permeability and is in good agreement with the measurement of bacterial translocation in the liver (35). Other trustworthy serum biomarkers, such as antioxidant biomarkers, have been included in our investigations, such as isoprostane 8-iso-PGF2α and prostaglandin GF2α (36); Griess, superoxide dismutase activity, thiobarbituric acid reactive substances, and total antioxidant capacity; enterocyte biomarkers: peptide YY, enterocellular signal-regulated kinase, citrulline, and mucin 2; and Immune biomarkers: Interferon-gamma and total or specific secretory IgA (37, 38). Other biomarkers' gene expression, such as α1-acid glycoprotein; fatty acid-binding protein; interleukins (IL-8, IL-1β,); mucin 2; transforming growth factor; and tumor necrosis factor have also been shown promising results [(39); Mullenix et al.].

Our laboratory has evaluated natural alternatives to AGP for the last 20 years. While there is no "magic bullet" for preventing chronic stress-related illnesses, the Poultry Health Laboratory of the University of Arkansas has assessed alternatives to AGP. Published laboratory and field trial studies suggest that probiotics (40), direct-fed microbials (41),

prebiotics (42), organic acids (43), plant extracts (44), essential oils (45, 46), and trace minerals (47), can assist in the improvement of intestinal microbial balance, metabolism, and gut integrity.

Several phytogenics have been evaluated as feed additives in animal production for nutritional purposes. However, phytogenics play an essential role in preventing several diseases in poultry due to their antioxidant, anti-inflammatory, antibacterial, antiviral, antifungal, immunomodulatory, and barrier integrity-enhancing properties. Our studies with curcumin, the principal curcuminoid of turmeric (Curcuma longa), a member of the ginger family (Zingiberaceae), have shown that this unique polyphenol can reduce the severity of necrotic enteritis (43); salmonellosis (44, 48); and aflatoxicosis (49) in broiler chickens; as well as coccidiosis in Leghorn chickens (36).

Over a century ago, the father of innate immunity and novel prize winner Eli Metchnikoff proposed the revolutionary idea to consume viable bacteria to promote health by modulating the intestinal microbiota (50, 51). Bacterial antibiotic resistance ("superbugs") is a severe problem in medicine and agriculture worldwide. This concept has never been more relevant, as increasing numbers of antibiotic-resistant strains of bacteria are posing a hazard to animal and human health, with resistance mechanisms having been identified and documented for all known antimicrobials currently accessible for clinical use in the past few decades (Björkman. et al.). Due to the rise and spread of many antibiotic-resistant zoonotic bacterial infections, there is an increased public and scientific interest in the administration of therapeutic and subtherapeutic antimicrobials to animals at present. As a result of social pressures, restrictions limiting antibiotic usage in poultry and livestock operations have been established. A high-efficient food animal production system necessitates evaluating potential antibiotic alternatives to improve disease resistance. Nutritional approaches to counteracting the debilitating effects of stress, illness, and chronic inflammation may prove to be effective alternatives to antibiotics in some cases, according to recent studies (Sylte et al.; Takano et al.; Mullenix et al.; Chalvon-Demersay et al.).

Improvement of disease resistance in animals raised without antibiotics has been demonstrated to be helpful not only to the health, welfare, and productivity of the animals but also to be a key strategy in improving the microbiological safety of animal products. Recent international legislations and increasing consumer demands to withdraw growth-promoting antibiotics and limit the therapeutic use of available antimicrobials has resulted in the research and development of alternative feed additives that are presented in this Research Topic, such as:

1. Probiotics improved overall performance, intestinal epithelial mucosal integrity, immune-related cytokines, and intestinal microbiota regulation (Li Y. et al.; Amoah et al.; Wang B. et al.; Zhang Y. et al.; Sobrino et al.); decreased virulent E. coli colonization (Arreguin-Nava et al.); diminish parasite survival and coccidiosis (Wickramasuriya et al.); lower Salmonella Enteritidis colonization (Adhikari, Hernandez-Patlan et al.).

2. Prebiotics positively impacts the integrity and performance of the gastrointestinal tract (Praxedes-Campagnoni et al.); may be able to partially preserve the intestinal health of broilers from persistent exposure to aflatoxin B1 (Hernández-Ramírez et al.); improve breast muscle yield (Zhao et al.); improve rumen microbial fermentation immune function, and performance (Chen et al.) in lambs. The inclusion of Spirulina has been shown to reduce systemic inflammation- and bacterial translocation-induced in poultry (Mullenix et al.).

3. Enzymes improve weaned piglet growth performance by enhancing dietary nitrogen digestibility and inhibiting protein fermentation in the hindgut (Li H. et al.); lower intestinal lesion scores due to necrotic enteritis and increase performance in chickens (Nusairat and Wang).

4. Short and medium-chain fatty acids have also shown benefits against necrotic enteritis by improving microbial homeostasis in chickens (Gomez-Osorio et al.).

5. Phytochemicals have antibacterial activity against Gram-negative enteropathogens (Anderson et al.); reduce the inflammation and dysbacteriosis induced by Salmonella Typhimurium in mice (Wang B. et al.); and improve performance, intestinal health, and resistance to coccidiosis in commercial poultry (Park et al.).

6. Vitamins. During high-concentrate feeding, dietary thiamine improves rumen epithelial barrier function via modulating Nrf2–NFB signaling pathways in goats (Ma et al.).

7. Functional amino acids improve overall gut health in pigs and chickens (Chalvon-Demersay et al.). Antiviral activity of 5-Aminolevulinic acid has shown to have antiviral activity in Feline Coronavirus infections (Takano et al.), which can be of relevance, considering the increasing number of cases of animals naturally infected with SARS-CoV-2, especially companion animals, offering treatment to these animals in the current COVID-19 pandemic (de Morais et al.).

8. Vaccines and immunoglobulins. The Mucosal Subunit Vaccine enhances colostrum IgA and serum IgG in sows and controls enterotoxigenic Escherichia coli in newborn and weanling piglets (Jabif et al.). A practical and natural resource against severe Eimeria tenella infection, egg yolk polyclonal IgYs can gradually reduce or eliminate anticoccidials from the diet (Juárez-Estrada et al.).

9. Bile acids. Campylobacter jejuni colonization ability in the intestine of laying hens may be hampered by microbiota and bile acid metabolism (Asakura et al.).

10. Changes in dietary energy levels have been shown to improve performance in donkeys by manipulating microbiome and metabolome (Zhang C. et al.).

11. Evaluation of microbiome in the litter of commercial turkeys has shown promising results in the health and diseases of turkeys (Adhikari, Tellez-Isaias et al.).

12. Novel selection of Bacillus strains direct-fed microbials based on quantitative enzyme determination and data analysis to assess the impacts of combinations to avoid antagonistic interactions that could limit treatment efficacy (Hernandez-Patlan et al.).

Food safety concerns and the rapid and unique use of novel research methodologies derived from systems biology ('omics) and biomarkers to accurately assess “gut health” will influence the field in the future years.

References

1. Celluzzi A, Masotti A. How our other genome controls our epi-genome. Trends Microbiol. (2016) 24:777–87. doi: 10.1016/j.tim.2016.05.005
2. Wallis JW, Aerts J, Groenen MA, Crooijmans RP, Layman D, Graves TA, et al. A physical map of the chicken genome. Nature. (2004) 432:761–4. doi: 10.1038/nature03030
3. Zhu B, Wang X, Li L. Human gut microbiome: the second genome of human body. Protein cell. (2010) 1:718–25. doi: 10.1007/s13238-010-0093-z
4. Schneider S, Wright CM, Heuckeroth RO. Unexpected roles for the second brain: enteric nervous system as master regulator of bowel function. Annu Rev Physiol. (2019) 81:235–59. doi: 10.1146/annurev-physiol-021317-121515
5. Bar-Shira E, Sklan D, Friedman A. Establishment of immune competence in the avian GALT during the immediate post-hatch period. Dev Comp Immunol. (2003) 27:147–57. doi: 10.1016/S0145-305X(02)00076-9
6. Vighi G, Marcucci F, Sensi L, Di Cara G, Frati F. Allergy and the gastrointestinal system. Clin Exp Immunol. (2008) 153:3–6. doi: 10.1111/j.1365-2249.2008.03713.x
7. Gribble FM, Reimann F. Function and mechanisms of enteroendocrine cells and gut hormones in metabolism. Nat Rev Endocrinol. (2019) 15:226–37. doi: 10.1038/s41574-019-0168-8
8. Bloom S. Gut hormones in adaptation. Gut. (1987) 28(Suppl.):31–5. doi: 10.1136/gut.28.Suppl.31
9. Gribble FM, Reimann F. Signalling in the gut endocrine axis. Physiol Behav. (2017) 176:183–8. doi: 10.1016/j.physbeh.2017.02.039
10. Lund ML, Egerod KL, Engelstoft MS, Dmytriyeva O, Theodorsson E, Patel BA, et al. Enterochromaffin 5-HT cells-A major target for GLP-1 and gut microbial metabolites. Mol Metabol. (2018) 11:70–83. doi: 10.1016/j.molmet.2018.03.004
11. Forsythe P, Sudo N, Dinan T, Taylor VH, Bienenstock J. Mood and gut feelings. Brain Behav Immun. (2010) 24:9–16. doi: 10.1016/j.bbi.2009.05.058
12. Liang X, Bushman FD, FitzGerald GA. Time in motion: the molecular clock meets the microbiome. Cell. (2014) 159:469–70. doi: 10.1016/j.cell.2014.10.020

13. Mayer EA, Knight R, Mazmanian SK, Cryan JF, Tillisch K. Gut microbes and the brain: paradigm shift in neuroscience. J Neurosci. (2014) 34:15490–6. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3299-14.2014
14. Sherwin E, Rea K, Dinan TG, Cryan JF. A gut (microbiome) feeling about the brain. Curr Opin Gastroenterol. (2016) 32:96–102. doi: 10.1097/MOG.0000000000000244
15. Cryan JF, Dinan TG. Mind-altering microorganisms: the impact of the gut microbiota on brain and behaviour. Nat Rev Neurosci. (2012) 13:701–12. doi: 10.1038/nrn3346
16. Fasano A. All disease begins in the (leaky) gut: role of zonulin-mediated gut permeability in the pathogenesis of some chronic inflammatory diseases. F1000Research. (2020) 9:1. doi: 10.12688/f1000research.20510.1
17. Sekirov I, Russell SL, Antunes LCM, Finlay BB. Gut microbiota in health and disease. Physiol Rev. (2010) 90:859–904. doi: 10.1152/physrev.00045.2009
18. Dimitrov DV. The human gutome: nutrigenomics of the host-microbiome interactions. Omics. (2011) 15:419–30. doi: 10.1089/omi.2010.0109
19. Wu RY, Määttänen P, Napper S, Scruten E, Li B, Koike Y, et al. Non-digestible oligosaccharides directly regulate host kinome to modulate host inflammatory responses without alterations in the gut microbiota. Microbiome. (2017) 5:135. doi: 10.1186/s40168-017-0357-4
20. Fukui H, Xu X, Miwa H. Role of gut microbiota-gut hormone axis in the pathophysiology of functional gastrointestinal disorders. J Neurogastroenterol Motil. (2018) 24:367. doi: 10.5056/jnm18071
21. Megur A, Baltriukiene D, Bukelskiene V, Burokas A. The microbiota-gut-brain axis and Alzheimer's disease: neuroinflammation is to blame? Nutrients. (2021) 13:37. doi: 10.3390/nu13010037
22. Neuman H, Debelius JW, Knight R, Koren O. Microbial endocrinology: the interplay between the microbiota and the endocrine system. FEMS Microbiol Rev. (2015) 2015:fuu010. doi: 10.1093/femsre/fuu010
23. Maslowski KM, Mackay CR. Diet, gut microbiota and immune responses. Nat Immunol. (2010) 12:5–9. doi: 10.1038/ni0111-5
24. Liu X, Cao S, Zhang X. Modulation of gut microbiota-brain axis by probiotics, prebiotics, and diet. J Agric Food Chem. (2015) 63:7885–95. doi: 10.1021/acs.jafc.5b02404
25. Tlaskalová-Hogenová H, Stepánková R, Hudcovic T, Tucková L, Cukrowska B, Lodinová-Zádniková R, et al. Commensal bacteria (normal microflora), mucosal immunity and chronic inflammatory and autoimmune diseases. Immunol Lett. (2004) 93:97–108. doi: 10.1016/j.imlet.2004.02.005
26. Weiss GA, Hennet T. Mechanisms and consequences of intestinal dysbiosis. Cell Mol Life Sci. (2017) 74:2959–77. doi: 10.1007/s00018-017-2509-x
27. Tellez G, Latorre JD, Kuttappan VA, Kogut MH, Wolfenden A, Hernandez-Velasco X, et al. Utilization of rye as energy source affects bacterial translocation, intestinal viscosity, microbiota composition, and bone mineralization in broiler chickens. Nutrigenomics. (2014) 5:339. doi: 10.3389/fgene.2014.00339
28. Zareie M, Johnson-Henry K, Jury J, Yang P-C, Ngan B-Y, McKay DM, et al. Probiotics prevent bacterial translocation and improve intestinal barrier function in rats following chronic psychological stress. Gut. (2006) 55:1553–60. doi: 10.1136/gut.2005.080739
29. Kallapura G, Pumford NR, Hernandez-Velasco X, Hargis BM, Tellez G. Mechanisms involved in lipopolysaccharide derived ROS and RNS oxidative stress and septic shock. J Microbiol Res Rev. (2014) 2:6–11.
30. Stecher B. The roles of inflammation, nutrient availability and the commensal microbiota in enteric pathogen infection. Microbiol Spectr. (2015) 3:8. doi: 10.1128/microbiolspec.MBP-0008-2014
31. Kuttappan V, Berghman L, Vicuña E, Latorre J, Menconi A, Wolchok J, et al. Poultry enteric inflammation model with dextran sodium sulfate mediated chemical induction and feed restriction in broilers. Poultry Sci. (2015) 94:1220–6. doi: 10.3382/ps/pev114
32. Vicuña E, Kuttappan V, Galarza-Seeber R, Latorre J, Faulkner O, Hargis B, et al. Effect of dexamethasone in feed on intestinal permeability, differential white blood cell counts, and immune organs in broiler chicks. Poultry Sci. (2015) 94:2075–80. doi: 10.3382/ps/pev211
33. Menconi A, Hernandez-Velasco X, Vicuña E, Kuttappan V, Faulkner O, Tellez G, et al. Histopathological and morphometric changes induced by a dextran sodium sulfate (DSS) model in broilers. Poultry Sci. (2015) 94:906–11. doi: 10.3382/ps/pev054
34. Ruff J, Barros TL, Tellez G Jr, Blankenship J, Lester H, Graham BD, et al. Research Note: evaluation of a heat stress model to induce gastrointestinal leakage in broiler chickens. Poult Sci. (2020) 99:1687–92. doi: 10.1016/j.psj.2019.10.075
35. Baxter MF, Merino-Guzman R, Latorre JD, Mahaffey BD, Yang Y, Teague KD, et al. Optimizing fluorescein isothiocyanate dextran measurement as a biomarker in a 24-h feed restriction model to induce gut permeability in broiler chickens. Front Vet Sci. (2017) 4.:56 doi: 10.3389/fvets.2017.00056
36. Petrone-Garcia VM, Lopez-Arellano R, Patiño GR, Rodriguez MAC, Hernandez-Patlan D, Solis-Cruz B, et al. Curcumin reduces enteric isoprostane 8-iso-PGF2α and prostaglandin GF2α in specific pathogen-free Leghorn chickens challenged with Eimeria máxima. Sci Rep. (2021) 11:1–9. doi: 10.1038/s41598-021-90679-5
37. Baxter MF, Latorre JD, Dridi S, Merino-Guzman R, Hernandez-Velasco X, Hargis BM, et al. Identification of serum biomarkers for intestinal integrity in a broiler chicken malabsorption model. Front Vet Sci. (2019) 6:144. doi: 10.3389/fvets.2019.00144
38. Tellez G Jr, Arreguin-Nava M, Maguey J, Michel M, Latorre J, Merino-Guzman R, et al. Effect of Bacillus-direct-fed microbial on leaky gut, serum peptide YY concentration, bone mineralization, and ammonia excretion in neonatal female turkey poults fed with a rye-based diet. Poult Sci. (2020) 99:4514–20. doi: 10.1016/j.psj.2020.06.018
39. Chen J, Tellez G, Richards JD, Escobar J. Identification of potential biomarkers for gut barrier failure in broiler chickens. Front Vet Sci. (2015) 2:14. doi: 10.3389/fvets.2015.00014
40. Tellez-Isaias V, Christine N, Brittany D, Callie M, Lucas E, Roberto S, et al. Developing probiotics, prebiotics, and organic acids to control Salmonella spp. in commercial turkeys at the University of Arkansas USA. Ger J Vet Res. (2021) 3:7–12. doi: 10.51585/gjvr.2021.3.0014
41. Latorre JD, Hernandez-Velasco X, Wolfenden RE, Vicente JL, Wolfenden AD, Menconi A, et al. Evaluation and selection of Bacillus species Based on enzyme Production, antimicrobial activity, and Biofilm synthesis as Direct-Fed Microbial candidates for Poultry. Front Vet Sci. (2016) 3:95. doi: 10.3389/fvets.2016.00095

42. Torres-Rodriguez A, Higgins S, Vicente J, Wolfenden A, Gaona-Ramirez G, Barton J, et al. Effect of lactose as a prebiotic on turkey body weight under commercial conditions. J Appl Poult Res. (2007) 16:635–41. doi: 10.3382/japr.2006-00127
43. Hernandez-Patlan D, Solis-Cruz B, Patrin Pontin K, Latorre JD, Baxter MF, Hernandez-Velasco X, et al. Evaluation of the dietary supplementation of a formulation containing ascorbic acid and a solid dispersion of curcumin with boric acid against Salmonella enteritidis and necrotic enteritis in broiler chickens. Animals. (2019) 9:184. doi: 10.3390/ani9040184
44. Leyva-Diaz AA, Hernandez-Patlan D, Solis-Cruz B, Adhikari B, Kwon YM, Latorre JD, et al. Evaluation of curcumin and copper acetate against Salmonella Typhimurium infection, intestinal permeability, and cecal microbiota composition in broiler chickens. J Anim Sci Biotechnol. (2021) 12:1–12. doi: 10.1186/s40104-021-00545-7
45. Coles ME, Forga AJ, Señas-Cuesta R, Graham BD, Selby CM, Uribe ÁJ, et al. Assessment of Lippia origanoides essential oils in a Salmonella typhimurium, Eimeria maxima, and Clostridium perfringens challenge model to induce necrotic enteritis in broiler chickens. Animals. (2021) 11:1111. doi: 10.3390/ani11041111
46. Ruff J, Tellez G, Forga AJ, Señas-Cuesta R, Vuong CN, Greene ES, et al. Evaluation of three formulations of essential oils in broiler chickens under cyclic heat stress. Animals. (2021) 11:1084. doi: 10.3390/ani11041084
47. Baxter MF, Greene ES, Kidd MT, Tellez-Isaias G, Orlowski S, Dridi S. Water amino acid-chelated trace mineral supplementation decreases circulating and intestinal HSP70 and proinflammatory cytokine gene expression in heat-stressed broiler chickens. J Anim Sci. (2020) 98:skaa049. doi: 10.1093/jas/skaa049
48. Hernandez-Patlan D, Solis-Cruz B, Pontin KP, Latorre JD, Baxter MF, Hernandez-Velasco X, et al. Evaluation of a solid dispersion of curcumin with polyvinylpyrrolidone and boric acid against Salmonella enteritidis infection and intestinal permeability in broiler chickens: a pilot study. Front Microbiol. (2018) 9:1289. doi: 10.3389/fmicb.2018.01289
49. Solis-Cruz B, Hernandez-Patlan D, Petrone VM, Pontin KP, Latorre JD, Beyssac E, et al. Evaluation of a Bacillus-based direct-fed microbial on aflatoxin B1 toxic effects, performance, immunologic status, and serum biochemical parameters in broiler chickens. Avian Dis. (2019) 63:659–69. doi: 10.1637/aviandiseases-D-19-00100
50. Kaufmann SH. Immunology's foundation: the 100-year anniversary of the Nobel Prize to Paul Ehrlich and Elie Metchnikoff. Nat Immunol. (2008) 9:705–12. doi: 10.1038/ni0708-705
51. Gordon S. Elie Metchnikoff: father of natural immunity. Eur J Immunol. (2008) 38:3257–64. doi: 10.1002/eji.200838855

AVEM
Aviespecialistas de México

CHRONIC STRESS, CHRONIC INFLAMMATION, AND MITOCHONDRIAL DYSFUNCTION: THE SILENT KILLERS

Guillermo Tellez-Isaias[1], Wolfgang Eisenreich[2], Victor M. Petrone-Garcia[3], Xochitl Hernandez-Velasco[4], Inkar Castellanos-Huerta[1,5], Guillermo Tellez Jr. [6], Juan D. Latorre[1], Walter G. Bottje[1], Roberto Señas-Cuesta[1], Makenly E. Coles[1], Billy M. Hargis[1], Saeed El-Ashram[7], Brittany D. Graham[1], and Awad A. Shehata[8, 9, 10]

1 Department of Poultry Science, University of Arkansas Agricultural Experiment Station, Fayetteville, AR, USA; gtellez@uark.edu, castellanos.inkar@gmail.com, jl115@uark.edu, wbottje@uark.edu, rsenascu@uark.edu, mecoles@uark.edu, bhargis@uark.edu, bmahaffe@uark.edu
2 Structural Biochemistry of Membranes, Bavarian NMR Center, Technical University of Munich (TUM. Garching, Germany; wolfgang.eisenreich@mytum.de
3 Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan, Universidad Nacional Autonoma de Mexico (UNAM), Cuautitlan Izcalli, Estado de Mexico, Mexico; vmpetrone@hotmail.com
4 Departamento de Medicina y Zootecnia de Aves, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ), UNAM, Cd. de Mexico, Mexico, xochitlh@fmvz.unam.mx
5 Facultad de Ciencias Naturales, Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Querétaro, Av. de las Ciencias S/N, 76230 Juriquilla, Querétaro, México; castellanos.inkar@gmail.com
6 Department of Developmental Biology, Roslin Institute, University of Edinburgh, UK; memotellez98@gmail.com
7 College of Life Science and Engineering, Foshan University, Foshan, Guangdong Province, China; saeed_elashram@yahoo.com
8Research and Development Section, PerNaturam GmbH, An der Trift 8, 56290 Gödenroth, Germany awad.shehata@pernaturam.de
9Prophy-Institute for Applied Prophylaxis, 59159 Bönen, Germany
10Avian and Rabbit Diseases Department, Faculty of Veterinary Medicine, University of Sadat City, Egypt

Abstract
The gastrointestinal tract provides the biological environment for nutrient digestion and absorption. Its physical and chemical barriers are crucial to protecting from invading pathogens and toxic substances. On this basis, the intactness of the gastrointestinal tract with its multiple functions and impacts is one of the key prerequisites for human and animal health. There is no doubt that the functions of a healthy gut system also largely benefit the welfare and performance of animals in farming systems such as poultry industries. As a result of intensive genetic programs, broiler chickens grow rapidly due to the high absorption capacity of intestinal epithelia for nutrients, the quick transport of nutrients to the muscle, and their efficient conversion into energy and biomass. Reactive oxygen and nitrogen species are physiologically created by intestinal epithelial cells, either due to oxygen metabolism or enteric commensal bacteria, which are important in regulating gut health. On the other hand, increased generation of these oxidants goes along with the formation of free radicals resulting in oxidative stress causing lipid peroxidation and dramatic molecular changes in the structure and function of the cell and mitochondrial membranes. These effects contribute to chronic oxidative stress and inflammation of the gastrointestinal tract and generally affect all chicken organs, tissues, and cells. Hence, all forms of chronic stress, regardless of their origin, negatively impact the chickens' overall performance, health, and welfare. This review article highlights some enteric inflammation models and biomarkers to evaluate gut integrity in chickens and discusses the repercussions that chronic stress and intestinal inflammation have on the health and performance of commercial poultry.
Keywords: ceca, chickens, inflammation, oxidative stress, stress

AVEM
Aviespecialistas de México

Introduction

Modern broiler chickens are most certainly a most visible manifestation of genetic advancements. At hatch, a Cobb500 broiler weighs 42 grams. This newborn chick grows 31 % (55 g/bird) in just twenty-four hours. By day 35 of age, this chicken reaches a body weightof 2,521 grams, representing 5,902 % relative to hatching mass (Cobb-Vantres 500, 2022). Genetic selection, food, health, and management measures carried out intensively have resulted in these successes. However, it is essential for production to keep the gastrointestinal tract (GIT) in good condition. The GIT is the principal organ responsible for digestion and nutrient absorption. The cost of subclinical coccidiosis or necrotic enteritis in broiler chickens is likely higher than that of clinically identified acute infections in poultry because feed conversion accounts for over 70% of the total cost of production (Aggrey et al., 2010). As the growing period of broilers shortens and feed efficiency improves, the need for improved health and nutrition programs becomes more apparent. Because the changes that occur during intestinal growth are minute, they are often overlooked, yet gut health impacts general health and productivity.

Currently, animal production systems require a constant search to reduce the effects of stress and chronic inflammation to improve energy use by producing animals. Although there is no "silver bullet" to prevent multifactorial conditions

associated with chronic stress, several studies show improvement in intestinal microbial balance, metabolism, and intestinal integrity through alternative products such as probiotics (Latorre et al., 2016; Tellez-Isaias et al., 2021), prebiotics (Torres-Rodriguez et al., 2007), organic acids (Hernandez-Patlan et al., 2019), plant extracts (Leyva-Diaz et al., 2021), essential oils (Coles et al., 2021; Ruff et al., 2021) and trace minerals (Baxter et al., 2020); this being an international scientific trend, due to the anti-inflammatory, antioxidant and immunomodulatory effects, as well such as improvement in intestinal integrity. Substitution of antibiotics in production systems with alternative products, improved management practices, strict biosecurity, quality ingredients, absence of diseases (Mycoplasma/Salmonella), and effective immunization programs are effective strategies for health objectives and productivity. In this work, we focus on reviewing the significant repercussions of chronic stress and intestinal inflammation on the health and performance of commercial birds.

1. Chicken gastrointestinal tract architecture and players

In addition to absorbing and digesting water and food, the intestinal tract contains a diverse and complex microbial community (Celluzzi and Masotti, 2016), as well as an enteric nervous system (ENS) of metazoans considered the "second brain" of the organism (Schneider et al., 2019). This microbial population can be similar to the number of somatic cells in this tissue (Wallis et al., 2004; Zhu et al., 2010; Li et al., 2014; Sender et al., 2016). In addition to this complexity in the structure and microbial relationships, in chickens, the gut-associated lymphoid tissue (GALT) contains the highest concentration of immune cells in the organism, showing its relevance (Peralta et al., 2017; Casteleyn et al., 2010).

Furthermore, the digestive system has primary lymphoid organs such as the bursa of Fabricius, where B lymphocytes originate and multiply; this component of GALT in avian species is essential for protecting the digestive system (Bar-Shira et al., 2003). In mammals, GALT contains nearly 80% of plasma cells that produce secretory IgA, the most abundant immunoglobulin (Ig) (Vighi et al., 2008). Because the GALT harbors the majority of immune cells, chronic intestinal inflammation in humans has been linked to various diseases and pathological states (Sekirov et al., 2010; Fasano, 2020 Feye et al., 2020). The intestinal microbiome can influence host biology, nutrition, immunity, and the neuroendocrine system (Dimitrov, 2011). GI function appears to be mediated by short-chain fatty acids (SCFA) generated by bacterial fermentation (Wu et al., 2017), communication between the microbiota and neurons (Megur et al., 2021), the endocrine system (Fukui et al., 2018), the immune system (Maslowski and Mackay 2010) and modulation of the intestinal epithelial barrier (Sharma et al., 2010). The ENS and endocrine gut network control the gastrointestinal tract (GIT) motility and disruption in functional GIT disorders (Fukui et al., 2018).

Enteroendocrine cells (EECs) are found throughout the GIT epithelium and produce several hormones (Gribble and Reimann, 2019). The first GIT hormones discovered were gastrin, secretin, cholecystokinin, insulin, and glucagon (Bloom, 1987). Over 50 hormones or bioactive peptides have been identified, making the GIT the primary organ displaying endocrine, neuroendocrine, autocrine, or paracrine activities (Rao and Wang, 2010; Gribble and Reimann, 2017). In metazoans, intestinal enterochromaffin cells, a subpopulation of numerous EECs, produce 90% of the neurotransmitter serotonin (5-hydroxytryptamine) (Lund et al., 2018). Serotonin has multiple biological functions related to psychology and physiological activities in prokaryotes and eukaryotes, such as regurgitation, vasodilation, GIT motility, wound healing, reproduction, and vasoconstriction, among others (Negri et al., 2021; Berger et al., 2009). Additionally, the intestinal microbiota partially controls the secretion of serotonin, dopamine, oxytocin, and endorphins produced by EECs (Forsythe et al., 2010; Liang et al., 2014; Mayer et al., 2014). Hence, in humans, the microbiota is associated with neurological syndromes such as schizophrenia, autism, depression, Alzheimer's, and Parkinson's disease (Forsythe et al., 2010; Cryan and Dinan, 2012; Sherwin et al., 2016; Slavich and Irwin, 2014). There is great wisdom in the old saying “gut feelings”. Gut health balance or homeostasis is affected by the microbiota-brain-gut axis, the immune system, oxidative stress, nutrition, the intestinal epithelial barrier, genetic factors, and feed additives, such as nutraceuticals (Figure 1).

The complex neuroendocrine network that connects the brain, the ENS, the intestinal microbiota, and the GALT (microbiota-brain-gut axis) substantially impacts the fragile intestinal epithelial barrier (Neuman et al., 2015; Megur et al., 2021), which also maintains tolerance and the immune response against foreign antigens and the balance of the microbiota (Maslowski and Mackay, 2010). Hence, prolonged stress and inflammation negatively impact the microbiota-

brain-gut axis, causing dysbacteriosis and disruption in the tight junction proteins with systemic translocation of bacteria and other antigens (Figure 2). During chronic stress and, as a result, chronic intestinal inflammation, energy for growth and reproduction is diverted away from these functions to sustain the inflammatory response. Poultry is no exception to this rule.

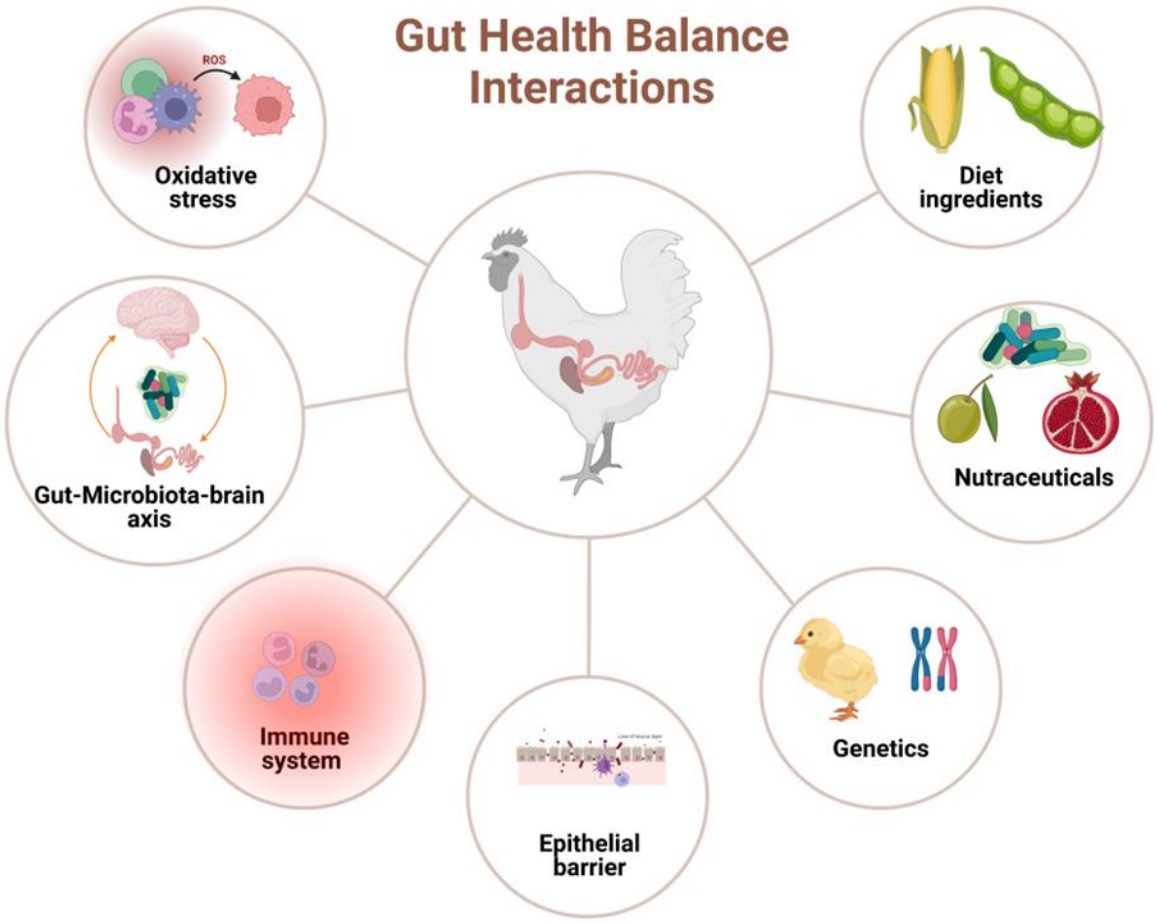


Figure 1. Interactions between the host (poultry species) and intrinsic or extrinsic factors that influence gut health (created with BioRender.com).

AVEM
Aviespecialistas de México

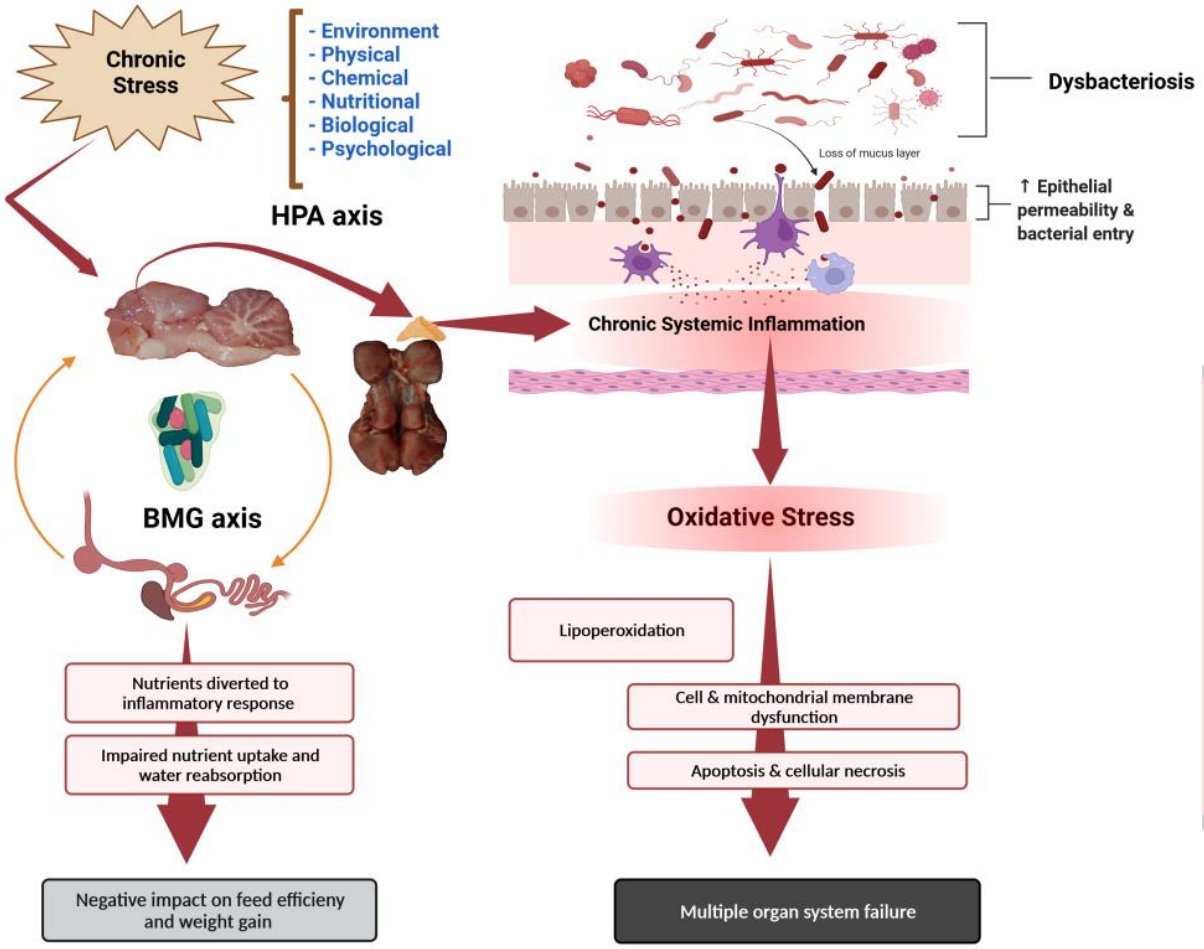


Figure 2. Chronic stress, regardless of its source, has a direct impact on the hypothalamic–pituitary–adrenal axis (HPA axis) the brain-microbiota-gut axis (BMG axis), as well as the endocrine and immunological systems. Intestinal inflammation, and chronic systemic inflammation originate from disruptions in the delicate balance and environment of the intestinal microbiota (dybacteriosis) and alterations in tight junction proteins among enterocytes causing leaky gut. Prolonged oxidative stress induced by the inflammatory process causes phospholipid peroxidation in cell and mitochondrial membranes, leading in apoptosis, cellular necrosis, and multiple organ failure (created with BioRender.com).

AVEM
Aviespecialistas de México

The hypothalamic–pituitary–adrenal axis (HPA axis) is a complex network of direct influences and feedback interactions between three components: the hypothalamus, the pituitary gland, and the adrenal glands on top of the kidneys (Lu et al., 2021). The HPA axis is a significant neuroendocrine system that controls stress reactions. It regulates numerous physiological systems, including digestion, the immune system, mood and emotions, sexuality, and energy storage and expenditure in response to environmental stimuli (Cohen et al., 2006). While vertebrates manufacture the majority of steroid hormones, the HPA axis and the physiological role of corticosteroids in stress response are crucial in eukaryotes (Lichtenthaler, 1998). Still, comparable systems can also be found in prokaryotes (Hentchel and Escalante-Semerena, 2015).

2. Pathogens and Diseases

In general, constant damage or the presence of pathogenic agents induces a stress process in the GI, increasing inflammation and, therefore oxidative stress (Federico et al., 2007). Among the different possible pathogens in the GI, we can include bacteria, and even protozoa, which infections can induce severe enteric damage, causing illness and high mortality rates. In chickens, Eimeria tenella is a primary cecal pathogen that negatively affects growth, feed utilization, and productivity due to necro-hemorrhagic typhlitis (Soutter et al., 2021). Conventional coccidiosis prevention relies heavily on chemoprophylaxis and life vaccines (Chapman, 2014), and on a global scale, economic costs in 2016 were estimated to be ~ USD 11.77 billion (Blake et al., 2020). As a result of growing consumer concerns about "superbugs" and the forthcoming rules prohibiting the use of growth-promoting or anticoccidial medications in chicken production, the industry has looked for alternative methods of control tactics to prevent coccidiosis (Chapman, 2008; Shivaramaiah et al., 2014; Hess et al., 2015). The emergence of multi-drug resistant Eimeria spp. in the field has limited the efficacious tools available for coccidiosis in commercial poultry operations (Chapman, 2014). The antigenic diversity of field strains and the high expense of manufacturing live vaccines for numerous Eimeria spp. hampers current vaccination efforts against coccidial infections relevant in the field (Blake et al., 2015; Clark et al., 2017).

Another protozoon that targets the ceca is Histomonas meleagridis, the cause of histomonosis in chickens and turkeys, is traditionally controlled with arsenicals in the diet. Still, these compounds are considered prohibited (Sulejmanovic et al., 2013). Severe outbreaks and flock losses are becoming more common. Alternatives to control protozoa infections include feed additives and other immunomodulators, adjuvants, and recombinant vaccine development. However, there are no approved prophylactic or therapeutic compounds for histomonosis. To develop a chemotherapeutic treatment for the disease, novel compounds, including phytogenic compounds, can be tested in vitro. Some phytogenic components evaluated include plant-derived essential oils, ethanol-water plant extracts, complex extracts, alkaloids, and sesquiterpene lactones (Liebhart et al., 2017). Alkaloids and sesquiterpene lactones showed an inhibiting effect of Histomonas in growth in vitro, but not in chickens or turkeys (Thøfner et al., 2012). Some commercial products claim to be effective against histomonosis with mixed results and claims unsupported by data (Hess et al., 2015).

Additionally, no commercial vaccines are available for H. meleagridis (Liebhart et al., 2017). The current understanding of parasite assault and host elimination is insufficient. The particularities of the host immunological response to Histomonas are becoming more apparent (Barros et al. 2020; Beer et al., 2020, 2022; Lagler et al., 2021; Mitra et al., 2021). Despite immunological research advancements, a histomonosis vaccine has no commercial application yet (Mitra et al., 2018); some experiments like oral or cloacal administration of clonal in vitro attenuated histomonads provided adequate protection against virulent challenges in laboratory settings but not against heterologous, multi-isolate challenges in the field (Liebhart et al., 2013). Recently, research showed the application of attenuated isolates orally or locally to turkeys has no protective effect against wild-type challenge (Beer et al., 2022), contrary to previously reported success with oral vaccination at this age (Sulejmanovic et al., 2016). Unfortunately, using live histomonads in the industry would be problematic due to intracloacal administration requirements, attenuation stability, variable protective immunity (Hess et al., 2015), and the cost of cell culture (McAllister, 2014). There is an undeniable need to identify more effective solutions to lessen the impact of chicken coccidiosis and histomonosis. Yet, crucial resources still need to be included, making rapid progress difficult. New control strategies for protozoal infections are required, but only after a thorough molecular and cellular assessment of host-parasite interfaces is completed.

In particular, bacterial infections are considered one of the main GI-associated infections, which due to their infection process and presence, are inducers of acute or even chronic inflammatory processes (Yamamoto et al., 2013). In murine models, Salmonella growth is aided, ironically, by acute inflammatory responses to pathogenic bacteria in the intestine, as there is increased migration of neutrophils and production of ROS and RNS as a result of the Salmonella infection disrupting the balance of the microbiota (Winter et al., 2010a). An increase in molecular oxygen in the lumen of the gut depletes important commensal anaerobes like Bacteroidetes and Clostridiales, which are essential butyric acid-producing bacteria (Rigottier-Gois, 2013). The oxidation of thiosulfate to tetrathionate is also a ROS by-product (Winter et al., 2010b).

In murine models, it has been shown that Salmonella uses tetrathionate to strengthen its development (Winter et al., 2010b). Tetrathionate broth is a component of enriched media for the culture of Salmonella in diagnostic laboratories.

However, a recent study has found that this differs for chickens (Saraiva et al., 2021). In contrast to murine models, in poultry, the ttrA and pduA genes do not appear to be significant virulence determinants in fecal excretion of invasiveness for Salmonella Enteritidis and S. Typhimurium. Interestingly, the deletion of both genes does not attenuate the pathogen but slightly decreases the numbers of S. Enteritidis and S. Typhimurium in caecum in poultry, reducing inflammation and allowing the bacteria to more easily invade gut epithelial cells and disseminate systemically, leading to severe clinical signs and higher mortality rates (Saraiva et al., 2021). Similar results have been reported by Rimet et al., 2019. Therefore, the study of these interactions has shown their participation in the process of oxidative stress and inflammation

In the case of physiological processes associated with the particular species, they can have an effect on triggers for stress processes and therefore induce chronic inflation. In most vertebrates, the renal system regulates body fluid and electrolytes. However, skin, salt glands, urine bladders, and digestive systems work in concert with the kidneys in non-mammalian vertebrates (Braun, 1999). Avian species are unique because they lack a urinary bladder, and renal discharge accesses the GIT directly. Both turkeys and chickens have a cloaca or common excretory pathway (Goldstein, 2006). Unlike mammals, where the kidney regulates the extracellular fluid composition independently, the urine flows into the cloaca in birds by a reverse peristaltic action to the ceca (Karasawa and Duke, 1995; Duke, 1999). Thus, the kidneys and lower GIT must regulate the extracellular fluid composition. Here, the avian ceca perform water reabsorption, fiber digestion (by bacterial fermentation), nitrogen recycling, microbial vitamin synthesis, and osmoregulation (Duke, 1982; Duke et al., 1983; Hall and Duke, 2000). SCFA are the primary bacterial fermentation metabolites that are absorbed in the ceca by two mechanisms: first, nonionic diffusion of protonated SCFA involving the consumption of luminal CO2; this process accounts for about 60% of total SCFA absorption; and second, cellular uptake by ionic diffusion of the Na or K salt of the SCFA (Ruppin et al., 1980). Inflammation in the ceca (typhlitis) impairs the function of the ceca, decreasing the efficiency of water reabsorption (Awad et al., 2017).

Additionally, the dietary composition can also affect the moisture in fecal droppings. The water content of the feces directly impacts the litter moisture in poultry production systems, with moisture levels ranging from 15% to 44%. Poultry litter contains high levels of protein and nitrogen (Kelleher et al., 2002). A significant issue with poultry litter is the loss of nitrogen, as ammonia, during microbial fermentation of urea and uric acid (Nahm, 2003). In chicken houses, ammonia volatilization is one of the most stressful gases to poultry that severely affects the birds' welfare, health, and performance (Moore et al., 2011; Van der Hoeven-Hangoor et al., 2014).

3. Defense nFkB TNFa Cytokines Cytokine storm

Pathogen-associated molecular patterns (PAMPs) are elements of pathogenic bacteria that metazoans recognize. PAMPs include lipopeptides, peptidoglycans, and teichoic acids (Salminen and Isolauri, 2006). The endotoxin lipopolysaccharide (LPS), found in Gram-negative bacteria outer membranes, is a classic example (Kallapura et al., 2014). As a main trigger, PAMPs activate the NF-κB axis (Jonkers and Stockbrügger, 2003). Inadequate NF-κB regulation has been associated with several immunological disorders (Elson and Cong, 2012).

Generally, infectious agents (bacterial, protozoal, viral, helminth) stimulate host pro-inflammatory responses. For instance, in domestic poultry, coccidiosis may cause necrosis and inflammation in the intestine, resulting in fever, depression, reduced performance, and death depending on the Eimeria spp. and infectious dose (Rose et al., 1975) (Figure 3). Infections with highly pathogenic strains of avian influenza (i.e., H5 or H7 subtypes) cause shock and mortality without clinical signs or lesions (Fernandez-Siurob et al., 2014; Smatti et al., 2019) (Figure 4). In both cases, the physiological consequences and death of the chicken are caused by the cascade of host-generated pro-inflammatory cytokines rather than by the protozoan or the virus.

4. ROS and RNS their effects on a molecular level

Polymorphonuclear (PMN) leukocytes and macrophages fight pathogens as the first line of defense by producing reactive molecules capable of inducing oxidation or reduction reactions (Qureshi, 2003; Petrone-Garcia et al., 2021). These include reactive oxygen species (ROS) such as superoxide, hydrogen peroxide, and hydroxyl radical. Reactive nitrogen species (RNS) comprise nitric oxide and peroxynitrite molecules. Both ROS and RNS are highly toxic to fight against invaders. They can easily penetrate the microbial cell wall, causing irreversible damages (Gostner et al., 2013). Immune signaling only initiates the production of these ROS and RNS molecules to intercept and kill pathogens (Sun et al., 2020). However, when ROS molecules overreact, they become immunotoxins capable of damaging the host cells and adjacent tissues (Figure 5), leading to severe local and systemic inflammation and multiple organ failure (Chen and Kevil, 2020). Due to this, its control is key to avoiding the adverse effect due to its overproduction and its negative impact (Lian et al., 2020).

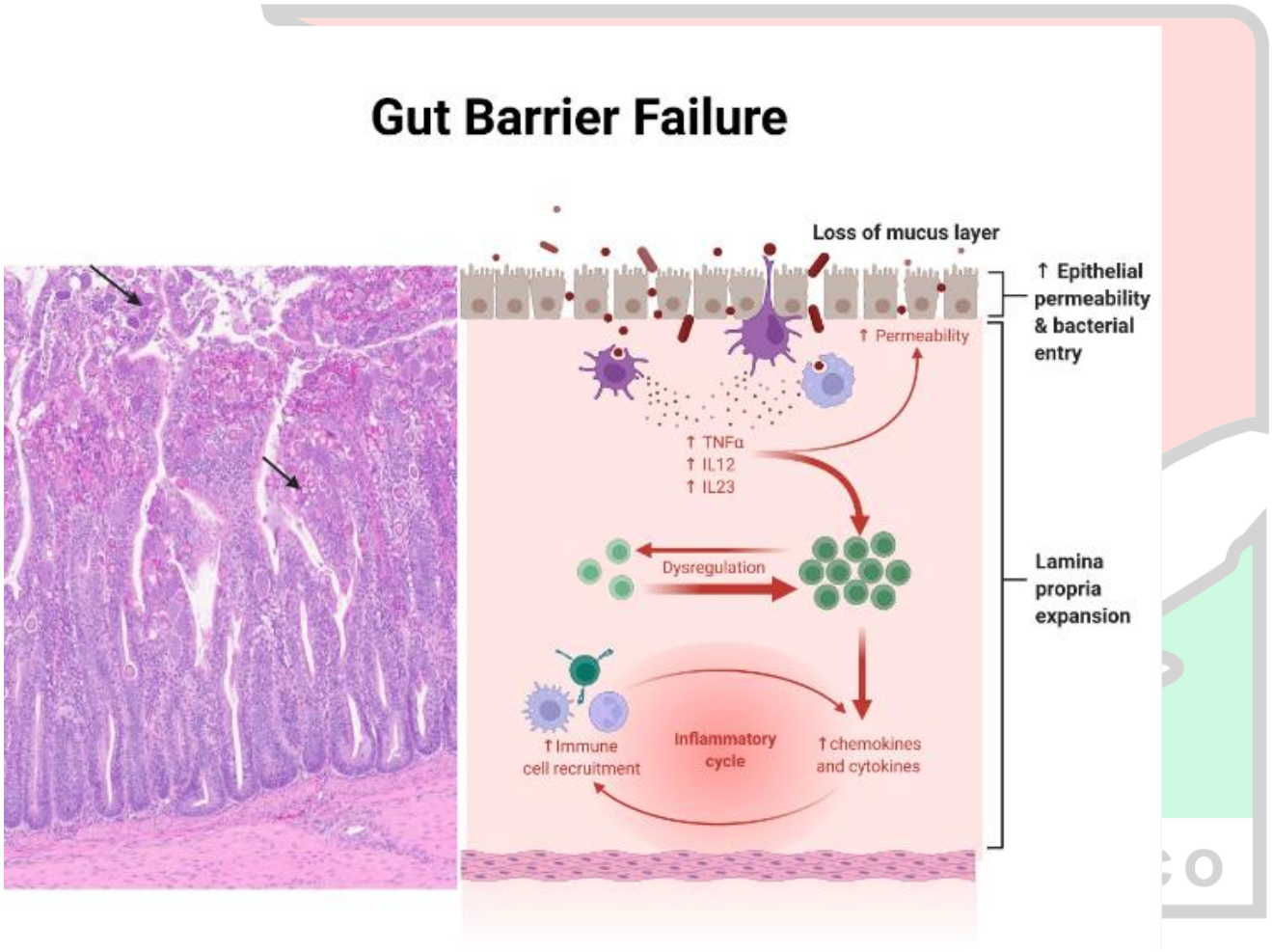


Figure 3. Infectious agents in poultry (bacterial, protozoal, viral, helminth) stimulate host proinflammatory responses. Gut barrier failure caused by Eimeria tenella. Mucosal and submucosal of ceca with infiltration of inflammatory cells, ulceration, and necrosis. Arrows show the presence or the parasite. Hematoxylin and eosin staining (created with BioRender.com).

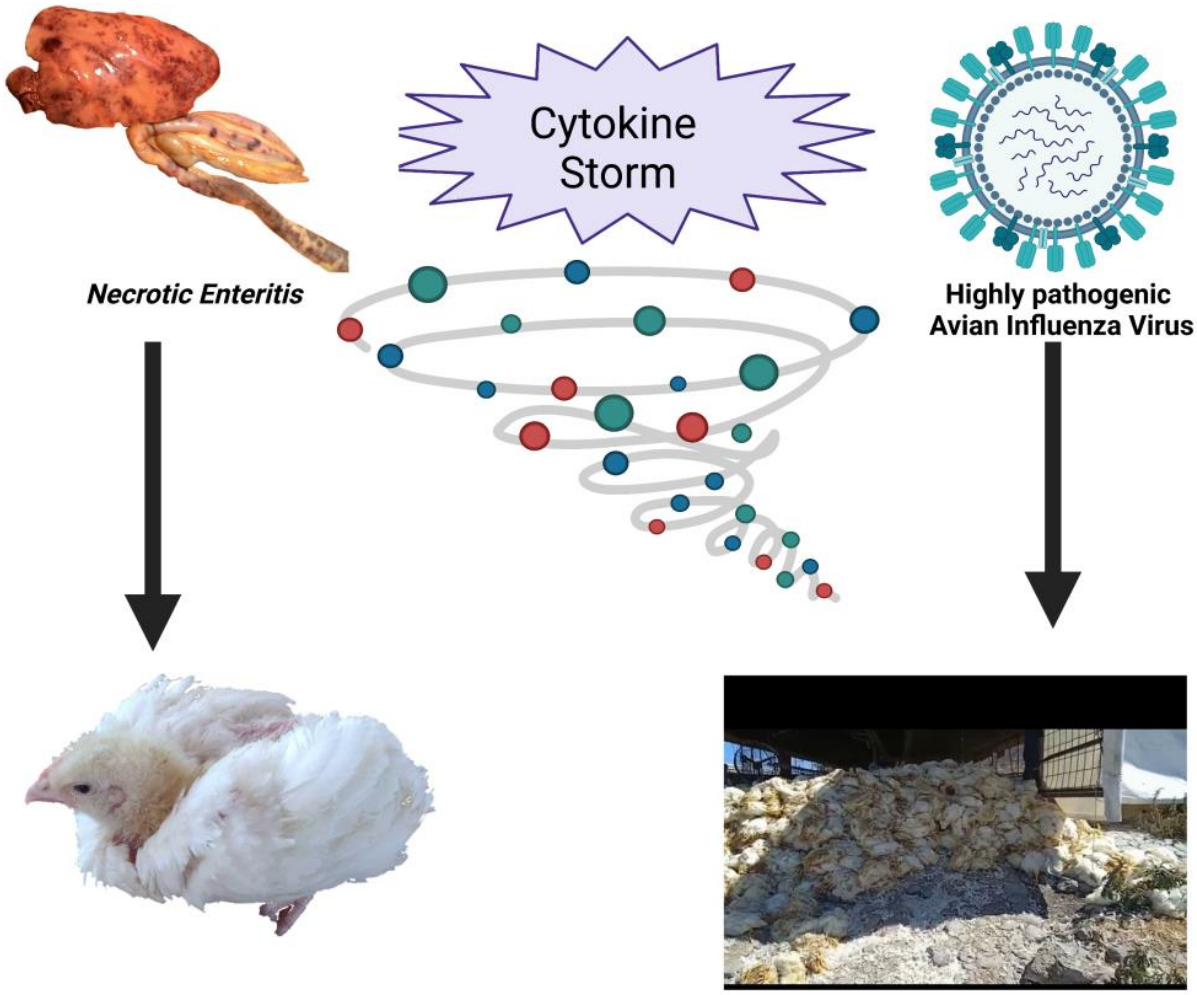


Figure 4. Necrotic enteritis may cause necrosis and severe inflammation in the intestine and liver bacterial translocation, resulting in fever, depression, and reduce performance. Infections with highly pathogenic strains of avian influenza (i.e. H5 or H7 subtypes) cause 100% mortality without clinical signs or lesions. In both examples, the excess proinflammatory cytokines or "cytokine storm" is responsible of those impressive effects. Image shows extensive mortality related to H7N3 (A/chicken/Jalisco/CPA1/2012) in a commercial flock in Mexico (created with BioRender.com).

AVEM
Aviespecialistas de México

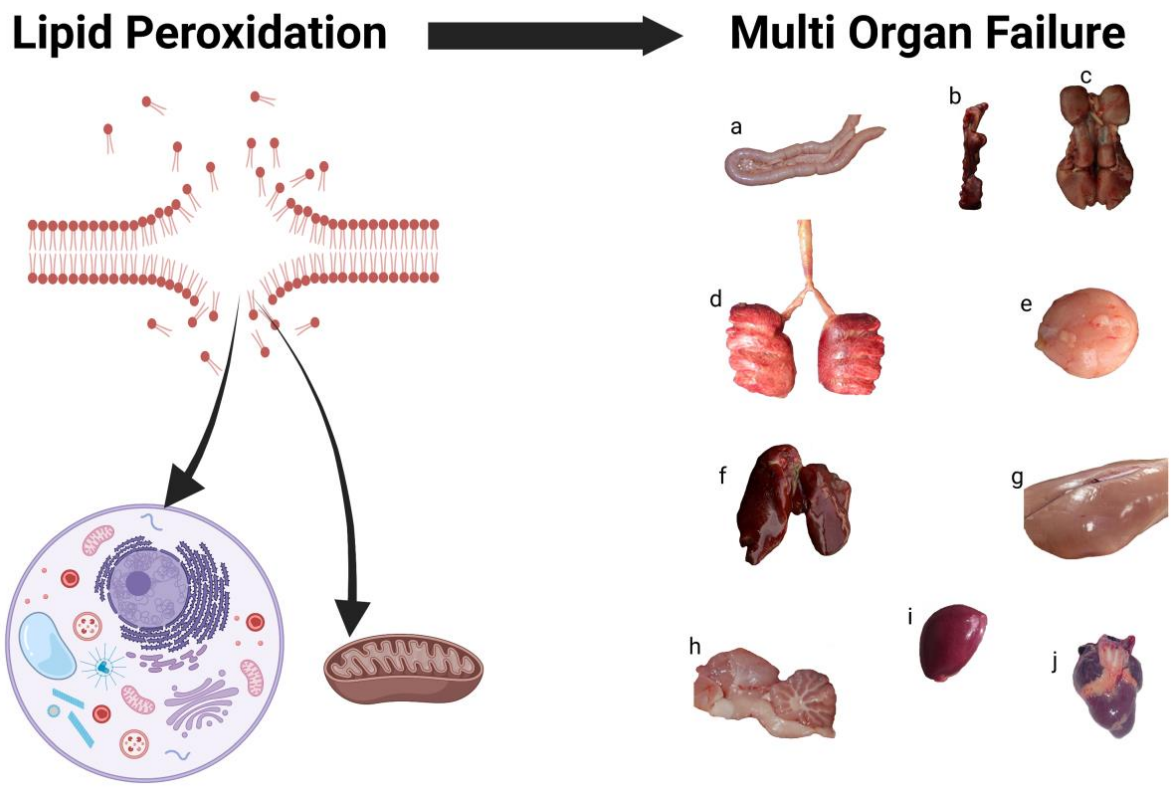


Figure 5. Excessive and chronic oxidative stress causes damage and lipid peroxidation of mitochondrial membrane and cell membrane. Alteration or these vital organels affects all cells and tissus causing apoptosis, necrosis, and multiple organ failure [a) intestine; b) tymus; c) kidneys; d) lungs; e) bursa of Fabricius; f) liver; g) muscle; h) brain/cerebellum] (created with BioRender.com).

5. Chronic Inflammation. Models and biomarkers

There is a delicate balance between pro-oxidant and antioxidant production during homeostasis, but chronic inflammation promotes an overabundance of ROS molecules, which can be severely damaging. ROS are associated with oxidative stress, which includes the formation of more RNS following the interaction of ROS with nitric oxide (NO). NO/RNS and ROS elicit immune responses and regulate immune function (Wink et al., 2011; Lee and Griendling, 2008). Extracellular pathogens that are too large for phagocytosis are targeted by ROS (Griffiths, 2005). When stimulated, RNS target intracellular/phagocytosed pathogens, extracellular pathogens, and tumor cells. Macrophages, the primary producers of ROS and RNS, detect and activate to eliminate bacterial infection via LPS recognition, a necessary and beneficial host mechanism (Lauridsen, 2019). However, prolonged exposure to high doses of LPS triggers inflammatory mediators (cytokine cascade), causing oxidative stress (Figures 4 and 5). As a result, oxidative stress contributes to high mortality rates in metazoans (Rubartelli and Lotze, 2007). Organ failure and hypotension are common symptoms of septic shock (Jones and Sies, 2015). Nevertheless, it is essential to recognize that all forms of chronic stress (biological, nutritional, physical, chemical, or psychological) induce prolonged inflammation (Khansari et al., 2009). In the GIT, chronic inflammation affects the integrity of the intestinal barrier by disrupting tight junction proteins leading to increased intestinal permeability ("leaky gut") (Fasano, 2020), causing bacterial translocation and systemic inflammation (Ilan, 2012). The inflammatory response can help the animal regain tissue homeostasis if adequately controlled. Nevertheless, if the stress and inflammation persist, tissues and organs are damaged (Dal Pont et al., 2020, 2021). Researchers may use enteric inflammation models in a laboratory setting to examine alternative growth promoters and dietary supplements for poultry. Several intestinal inflammatory models have been developed, including high NSP diets (Tellez et al., 2014, 2015; Dal Pont et al. 2021), dexamethasone (Vicuña et al., 2015), dextran sodium sulfate (Menconi et al., 2015; Zou et al., 2018; Gilani et al., 2017a), feed restriction/fasting (Kuttappan et al., 2015), and heat stress (Ruff et al., 2020; Rostagno M.H. 2020).

Gut integrity is dependent on barrier function. Oxidative stress, anti-nutritional components in soy, indigestible protein or energy sources, heat stress, and histomonosis are all examples of stressors that might result in gut barrier breakdown (Biswal et al., 2021; Pastorelli et al., 2013; Sharma et al., 2007; Williams, 2005; Tellez et al., 2014). However, as a result of the elimination of antimicrobial growth boosters, novel multifactorial diseases causing enteritis and unknown gut disorders have evolved in broilers, resulting in significant health and performance consequences (Gholamiandehkordi et al., 2007; Yegani and Korver, 2008; Castanon, 2007; Dahiya et al., 2006). Dysbacteriosis, defined as an aberrant microbiota on a qualitative and quantitative level, triggers a cascade of events in the GI tract, including decreased nutrient digestibility, inflammation, and leaky gut (Teirlynck et al., 2011). Furthermore, poor gut health has been linked to bacterial chondronecrosis, osteomyelitis lesions, and lameness in broiler chickens (Wideman et al., 2011, 2015). Proper gut barrier function is critical for overall health and homeostasis and serves as the first line of defense against environmental antigens (Jeon et al., 2013). The first layer of the gut barrier is the extrinsic mucus layer, which is composed of an outer layer of bacteria that is loosely attached to the epithelium and an inner layer of secretory IgA and mucin that is adherent to the second layer of the gut barrier, the intestinal epithelial cells (IECs), which is composed of a single layer of epithelial cells that separates the intestinal lumen from the underlying lamina propria (Sakamoto et al., 2000; Kim and Ho, 2010). These epithelial cells must have the ability to recover rapidly in the event of tissue damage (Audy et al., 2012). Enterocytes in the apical epithelium are responsible for nutrition absorption. Tight junctions close the paracellular space between adjacent epithelial cells on the apical surface, regulating the intestinal barrier's permeability by preventing bacteria and antigens from spreading paracellularly across the epithelium (Ulluwishewa et al., 2011). Because IECs are the predominant cell type in touch with the external environment, they serve as the first line of defense for the host. Despite their non-hematopoietic origins, IECs are a critical component of innate immunity in the gut-associated lymphoid tissue (GALT), performing a broad range of immunological functions. Indeed, IECs are capable of recognizing pathogens via the expression of innate immune receptors, releasing antimicrobial molecules, and secreting a variety of hormones, neurotransmitters, enzymes, as well as cytokines and chemokines that mediate the interaction between innate and adaptive immune responses (Alverdy et al., 2005; Edelblum and Turner, 2009). Thus, any damage to IECs, whether direct or indirect, may result in a collapse of the gut barrier and subsequent disturbance of normal mucosal immune homeostasis, resulting in uncontrolled chronic intestinal and systemic inflammation (Ilan, 2012; Schulzke et al., 2009).

Numerous researchers have revealed the pathways behind the disruption of the protein networks that connect epithelial cells by inflammatory mediators (hormones, oxygen-free radical species, enzymes, and various pro-inflammatory cytokines) induced by infections, food elements, or any other stress (Steed et al., 2010; Hu et al., 2013). Other factors can also contribute to the breakdown of the intestinal barrier. Feeding oxidized/unpreserved fat in chicken and swine has increased intestinal epithelial turnover rates and apoptosis at villus tips (Dibner et al., 1996). Mineral nutrition also plays a role in the operation of the intestinal barrier, and metals are pro-oxidants, which may result in oxidative stress and barrier breakdown (Teirlynck et al., 2009). Simultaneously, zinc regulates several proteins essential for the formation of tight junctions between intestinal epithelial cells, and zinc deficiency has been found to impair barrier function (Ulluwishewa et al., 2011; Debon and Tester, 2001).

The ability of the GIT to work properly is critical in determining animal health, welfare, and performance. As previously noted, gut health encompasses a variety of elements such as oxidative stress, genetics, diet ingredients, the gut barrier, the interplay of the brain, gut microbiota, and the immune system. Each of these components is linked to each other via several complex mechanisms and pathways; however, identifying some critical elements of gastrointestinal functionality allows scientists to evaluate potential biomarkers that can enable them to measure the functionality of the GIT in poultry. Numerous and quickly expanding approaches are being used to create biomarkers, each with its advantages and disadvantages. In most cases, several biomarkers to assess GIT functionality must be used due to the intricacy of the connections between the fundamental components of gastrointestinal performance. Using the keywords “biomarkers for intestinal integrity in poultry” in Google Scholar, the resulting survey yielded 1,730 articles. Having adequate models to induce gut inflammation in chickens and the tools to assess it are paramount to determining the impacts of nutraceutical

feed additives or treatments as alternatives to antibiotic growth promoters. Table 1 summarizes some related and reliable biomarkers to evaluate intestinal integrity in chickens.

Table 1. Biomarkers to evaluate intestinal integrity in chickens.

Assessment	Biomarker	Reference
Serum intestinal permeability	fluorescein isothiocyanate dextran	Baxter et al., 2017; Vuong et al., 2021; Gilani et al., 2017a
Serum intestinal permeability	mannitol and rhamnose sugars	Gilani et al., 2017b
Serum intestinal permeability	d(-)-lactate	Zou et al., 2018
Serum intestinal permeability	Fibronectin, intestinal alkaline phosphatase, and lipocalin-2	Barekatain et al., 2020
Intestinal permeability	Faecal ovotransferrin	Goossens et al., 2018
Intestinal permeability	liver bacterial translocation	Latorre et al., 2014, 2015
Serum intestinal anti-oxidant activity	Griess, superoxide dismutase, thiobarbituric acid reactive substances, total antioxidant capacity	Baxter et al., 2019
Serum and tissue anti-oxidant activity	Isoprostane 8-iso-PGF2α	Petrone-Garcia et al., 2021
Serum and tissue inflammation	Prostaglandin GF2α	Petrone-Garcia et al., 2021
Serum intestinal inflammation	endotoxin and α1-acid glycoprotein	Chen et al., 2015
Serum intestinal inflammation	Interleukin (IL)-1Beta, tumour necrosis factor alpha and IL-10	Zou et al. 2018
Cellular and immunological intestinal inflammation (mRNA)	IL-8, IL-1β, transforming growth factor (TGF)-β4, and fatty acid-binding protein	Chen et al., 2015
Serum enterocyte biomarkers	Extracellular signal-regulated kinase	Baxter et al., 2019
Serum enterocyte biomarkers	Citrulline	Baxter et al., 2019
Serum immune biomarkers	IFN-gamma	Baxter et al., 2019
	Secretory IgA	Baxter et al., 2019
Circulating inflammatory and redox markers	IL-3, IL-6, IL-4, IL-18, and tumor necrosis factor-alfa, chemokines (CCL-20), and NOD-like receptor family pyrin domain containing 3 inflammasome	Mullenix et al., 2021
Indirect way to evaluate short chain fatty acids	Peptide YY	Tellez Jr et al., 2020
Serum and feces intestinal inflammation	Calprotectin	Dal Pont et al., 2021

6. Damages in poultry farming

Hans Selye's 1975 Journal of Human Stress article "Confusion and controversy in the stress field" discusses stress research's confusion and controversies. Stress pioneer Hans Selye claims that the lack of a clear definition and the use of various terms have confused and slowed research. He proposes defining stress as "the body's nonspecific response to any demand." Selye also addresses the debate over "good stress" or eustress, which some researchers believe can improve performance and well-being. Selye believes that all stress, good or negative, can harm and that the key to managing stress is finding the optimal level that can be tolerated without harm. Selye suggests interdisciplinary stress research because the stress response is complex and needs input from psychology, physiology, and endocrinology. He stresses the need for researchers to consider both biological and psychological aspects of stress and to view stress as a whole-person phenomenon.

In humans, stress is described as a state of homeostasis being tested, manifesting as systemic and local stress (Juruena et al., 2021). In some cases, a specific stressor may be associated with unique local stress. However, the stress level above a certain threshold may commonly activate the HPA axis and result in a systemic stress response. According to the system-stress conceptual framework, stress can be classified into three types. These are stress (inadequate stress), eustress (good stress), and distress (poor stress) (Selye, 1975). Both stress and distress can impede normal physiological functioning and even result in pathological situations, whereas eustress has the potential to promote health by promoting equilibrium through hormesis-induced optimization. As a result, maintaining an adequate stress level is critical for developing biological shields that ensure normal life processes (Lu et al., 2021). Although the impacts of stress have been linked to

the development of most chronic illnesses, few physicians know how malfunctioning within the stress management system (HPA axis) alters pathophysiology (Karaca et al., 2021). A century of research on stress and the physiologic and metabolic consequences of stress has provided essential insight and enhanced our understanding of the subject. The clinical repercussions of stress in managing chronic diseases, on the other hand, continue to be a significant challenge (Guilliams and Edwards, 2010).

On the other hand, in poultry, infections, decreased feed intake, impaired feed conversion, and carcass condemnation are some of the repercussions that chronic neuroendocrine-immune interaction causes chicken (Calefi et al., 2017). Understanding and regulating environmental variables is critical to the success and welfare of chicken farming. Heat stress is one of the most significant ecological stressors threatening chicken production worldwide. It harms broiler chickens, ranging from lower performance to poor immunological response and food safety (Lara and Rostagno, 2013). Heat stress causes changes in protein, membrane lipid, and metabolic rate, all associated with the response of the body and the production of heat shock proteins as a defense mechanism for cells and tissues.

When it comes to maintaining homeostasis in an animal, the hypothalamus, in conjunction with all cells, tissues, and organs, plays a critical role. In experiencing stress, the HPA axis is activated through many sensory organs (Kuenzel and Jurkevich, 2010), releasing steroid hormones from the adrenal gland. The activation of the pituitary component of the HPA axis can be mediated by neuroendocrine hormones, including corticotropin-releasing hormone and adrenocorticotrophic hormone (Cao et al., 2021). Secretion of steroids from the adrenal cortex is induced by ACTH, which is released by the anterior pituitary gland. Adrenal corticoid production is mediated by the actions of the endocrine hormones ACTH, CRH, and Vasopressin (VP). The HPA axis is critical in directing the neuroendocrine systems that regulate the complex adaptive responses of animals to environmental stresses to maintain a healthy chicken (Binsiya et al., 2017). The activation of glucocorticoids is critical in the induction of hepatic gluconeogenesis, which is necessary to promote the adaption process. Glucocorticoids also increase the production of epinephrine in the adrenal medulla, which is another crucial hormone (Wickramasuriya et al., 2022). Flock density, or the number of chickens housed in a given area, can have significant effects on the social dynamics of a chicken flock. As the density of a flock increases, so does the potential for social stress among individual birds. This is because chickens are social animals that establish hierarchies and interact with one another in complex ways. When there are too many birds in a given space, competition for resources such as food, water, and space can lead to increased aggression and social tension (Naga et al., 2018). Social stress can have a range of negative effects on chickens, including reduced immune function and increased susceptibility to disease. For example, chickens experiencing social stress may have higher levels of the stress hormone cortisol, which can suppress the immune system and make them more vulnerable to infections such as enteritis (Collins and Siegel, 1987). In addition, social stress can lead to increased levels of feather pecking and cannibalism, which can create wounds that provide entry points for bacterial infections. High flock density can also exacerbate the effects of heat stress on chickens. When temperatures rise, chickens may experience heat stress, which can lead to reduced feed intake, reduced egg production, and increased mortality. In addition, heat stress can exacerbate social stress by increasing competition for resources and creating a more hostile environment within the flock (Nicol et al., 2006). In this way, high flock density can make chickens more vulnerable to the negative effects of both social stress and heat stress. It is important to manage flock density carefully in order to minimize the potential for social stress and its negative effects on chicken health and well-being. This can include providing adequate space, ensuring access to resources such as food and water, and monitoring the flock for signs of stress or disease (Heckert et al., 2002).

In a recent study, breeder age, chick gender, and breed were the internal factors significantly related to chick mortality associated with housing factors and management routines (Yerpes et al., 2020). Moreover, important characteristics linked with stress in broiler chickens during transport to the processing plant required immediate attention (Yerpes et al., 2021).

In response to cellular harm, inflammation is the final stage of the stress response, regardless of the source that triggered the stress. Stress and inflammation are innately regulated by immune and endocrine mechanisms (Stecher, 2015). When

stressed, the autonomic nervous system and endocrine hormones (adrenaline and glucocorticoids) prepare every cell in the body for "fight-or-flight.". As long as the stressful signal persists, the animal remains in survival mode, a biological process intended to be short and acute (Winter et al., 2010a). If the stress continues, stress hormones and other pro-inflammatory molecules persist in circulation, causing oxidative stress and chronic systemic inflammation (Fasano, 2011; Bickler et al., 2020), severely damaging the cell and mitochondrial membranes (lipid peroxidation), as described below.
The cell and mitochondrial membranes contain a phospholipid bilayer containing proteins and transport channels. The cell membrane regulates cell adhesion, ion conductivity, and cell signaling (Sharma et al., 2010). Prokaryotes, the most primitive organisms on the planet, have taught cell scientists about the extraordinary properties of the cell membrane. This organelle represents not only the protective permeable exterior barrier of the cell but also the brain of the cell ("mem-brain") (Lipton, 2016). Like eukaryotes, prokaryotes, including bacteria and other microorganisms, have membranes surrounding a droplet of cytoplasm. Prokaryotes acquire nutrients, communicate, excrete, and even process information in a "neurological" way (Desvaux et al., 2009; Lazcano and Peretó, 2021). They can detect the presence of nutrients, toxins, and predators adopting powerful escape techniques to preserve their viability (Liversidge, 1993). However, the nucleus and mitochondria in more evolved eukaryotic cells are not present in the prokaryotic cytoplasm. Thus, only the cell membrane can be considered a contender for the "prokaryote's brain" (Lipton, 2016). Any damage to this organelle compromises the biology of the prokaryotic cell or the eukaryotic cell.

On the other hand, according to endosymbiotic theory, several essential eukaryotic organelles evolved from symbiotic relationships between prokaryotes. Two billion years ago, an endosymbiont, a free-living bacterium was incorporated into a host cell (Sagan, 1967). According to available evidence, both mitochondria and chloroplasts descended from proteobacteria and cyanobacteria, respectively, during the evolution of life (Gray, 2017). On our planet, that symbiotic association changed the course of evolution indefinitely. Mitochondria, commonly known as the "powerhouse of eukaryotic cells," have a membrane structure comparable to the cell membrane. Nevertheless, in addition to providing energy to the cell, mitochondria are crucial for several cellular metabolic processes, including signal transduction and apoptosis (Osellame et al., 2012). Because mitochondrial injury and dysfunction affect cell metabolism, they are implicated in many animal and plant illnesses (Frye et al., 2016). As biologist Nick Lane colorfully puts it, "mitochondria rule the world" (Lane, 2005). Avian species are not the exception (Kimball et al., 2021). Oxidation of lipids in membranes occurs because persistent inflammation produces reactive oxygen species. Hence, oxidative stress has profound implications during this reactive oxygen species misbalance (Niki et al., 1991; Itri et al., 2014). The disruption of cell and mitochondrial membranes is detrimental to cell function (Collins et al., 2012; López-González et al., 2015). Not surprisingly, in humans, chronic stress and inflammation have been identified as the "secret killers" for these reasons (Korniluk et al., 2017). However, the concept also applies to poultry (Mishra and Jha, 2019).

All biological and physiological processes are balanced for the various microbiomes found on mucosal surfaces (Tlaskalová-Hogenová et al., 2004). Loss of balance of the microbiota (dysbiosis) in the GIT is associated with intestinal inflammation leading to loss of intestinal integrity (Weiss and Hennet, 2017). The composition of feed and the viscosity of intestinal contents influence the development of the microbial population in the GIT, especially in the small intestine (Tellez et al., 2014). Exogenous enzymes must be added to high non-starch polysaccharides (NSP)-monogastric diets to avoid anti-nutritional effects associated with excessive viscosity, intestinal irritation, and decreased performance (Choct et al., 1995; Bedford and Classen, 1993; Bedford and Schulze, 1998; Kiarie et al., 2013); Furthermore, researching in chickens and turkeys revealed that rye fed as an energy source enhanced digesta viscosity, bacterial translocation, and leakage of fluorescein isothiocyanate-dextran (FITC-d), affecting the microbiota composition as well as bone mineralization (Tellez et al., 2014; 2015). The grain's nutritional value will determine the usage of energy sources in chicken diets.

Low-grade intestinal tract damage and inflammation may cause poor feed efficiency, which is extremely costly to the poultry industry (Porter Jr, 1998). Endogenous and exogenous factors influence the homeostatic balance of the host GIT (Figure 1). These factors may have beneficial effects or negatively impact the host (Dal Pont et al., 2020, 2021). Any cause of stress, regardless of its origin, will promote an inflammatory response. The effects of stressors, including biological factors, nutritional factors (Solis-Cruz et al., 2019; Morales-Mena et al., 2020; Hernández-Ramírez 2021), environmental

factors (Kim and Patterson, 2003), and chemicals (Morales-Barrera et al., 2016) on oxidative stress and inflammation in poultry is shown in Figure 2. All of the factors represent different types of stress capable of inducing inflammation and disrupting the microflora, causing dysbacteriosis (Lebba et al., 2016). Additionally, chronic stress and inflammation cause malabsorption by severely impairing nutrient acquisition and water reabsorption (Mishra and Jha, 2019).

Determining the best microbiome for chickens is an ongoing area of research for poultry scientists, nutritionists, and flock managers. A healthy and diverse microbiome can improve the overall health, growth, and productivity of chickens. To determine the best microbiome for chickens, researchers and flock managers usually follow these steps:

1. Literature review: Researchers consult existing literature and studies to gather information on the composition of a healthy chicken microbiome. This includes beneficial microbes known to have positive effects on chicken health, growth, and productivity (Oakley et al., 2014).
2. Analyzing samples: Researchers and flock managers collect samples from healthy chickens, such as fecal or intestinal samples, to identify the types and proportions of microbes present. This information can serve as a benchmark for a healthy microbiome (Yeoman et al., 2012).
3. Experimental trials: Researchers conduct controlled experiments with various diets, supplements, or probiotics to determine their effects on the chicken microbiome. They also monitor chickens' health, growth, and productivity to identify positive correlations between specific microbial populations and desired outcomes (Shehata et al., 2022b).
4. Metagenomic sequencing: Advances in technology, such as metagenomic sequencing, have made it possible to analyze the entire genetic material of the microbial communities within a sample. This provides a more comprehensive understanding of the microbiome's diversity and function (Faye et al., 2020).
5. Data analysis and modeling: Researchers analyze and model the collected data to identify patterns and relationships between the composition of the microbiome and chicken health, growth, and productivity. This helps them determine the optimal microbiome (Diaz Carrasco et al., 2019).

Intestinal homeostasis is defined as the absence of inflammation and the absence of excessive secretions (water or mucus) within the intestinal tract (Gabriel et al., 2006). Physiological inflammation is ongoing during intestinal homeostasis as a controlled response to maintain tolerance to dietary antigens and the commensal microbiota and to prevent damage to the epithelium (Kogut et al., 2018). However, when induced, a pro-inflammatory cascade promotes an influx of immune cells and plasma proteins to the affected area, which can cause excessive fluid secretion, especially during chronic inflammation (Noguchi et al., 1998). The inflammatory response is an energetically expensive process, and rather than being partitioned for growth or protein accretion, nutrients are diverted to the host inflammatory response (Korver, 2012). It has been reported that inflammation, fever, and altered organ metabolism result in muscle catabolism and anorexia during the acute phase responses in chickens challenged with lipopolysaccharide (LPS), reducing body weight growth by 22 percent, but that only 59 percent of this reduction was due to a decrease in caloric intake during the challenge with LPS. Thus, additional mechanisms such as the immunological response were responsible for 41 percent of the body weight gain depression (Jiang et al., 2010). Damage to the intestinal epithelial barrier increases permeability, promotes inflammation, and reduces the surface area available for nutrient absorption (Dunaway and Adedokun, 2021). Additionally, factors that slow gut transit time and increase the viscosity of digesta, such as diets high in NSP without the addition of exogenous enzymes, are associated with dysbacteriosis and intestinal inflammation that negatively impact performance (Tellez et al., 2014). Undigested feed in the fecal droppings indicates digestive malfunction (Yegani and Korver, 2008).

Because urine and feces are ejected concurrently through the cloaca, it is difficult to separate increased urine output or polyuria from increased fecal water loss or diarrhea in poultry. This increase in water excretion is frequently caused by physiological diuresis or diarrhea. However, pathological changes caused by nutrition can exacerbate polyuria by hindering water recovery or diarrhea by inducing enteritis (Collett, 2012). On the other hand, watery intestinal contents may occur due to excessive digestive secretions or an osmotic effect of the diet due to composition or electrolyte imbalances (Francesch and Brufau, 2007). Inflammation of the renal or gastrointestinal lining compromises water and nutrient transfer, which increases the amount of water, mucus, and non-digested nutrients in the excreta (Dunaway and Adedokun,

2021). Besides loading the litter with water, the mucus and non-digested lipids reduce the litter's water-buffering capacity and exacerbate the consequences of flushing (Collett, 2012). Infections or toxins can also cause excessive secretion by the intestinal cells (Sears and Kaper, 1996).

Enteric inflammation in poultry is often related to the passage of undigested feed and increased intestinal permeability. Heat stress, enteropathogens, or disturbances in nutrition may cause chronic intestinal inflammation. Enteric inflammation, epithelial cell death, and leaky gut affect feed efficiency, litter moisture, and water consumption. Several manuscripts have described the economic implications of heat stress, coccidiosis, or necrotic enteritis, causing billions of dollars to the poultry industry. Nevertheless, while this review is focused on broiler chickens, the biological and pathological consequences of chronic stress and chronic intestinal or systemic inflammation apply to all eukaryote or prokaryote organisms. The ability to induce gut inflammation in vivo and the tools (biomarkers) to evaluate such physiological changes in poultry are of supreme importance to consider nutraceuticals as feed additives that have promising antioxidant, anti-inflammatory, and immune modulator capabilities to help scavenge redox molecules. They are, therefore, potentially effective in reducing chronic oxidative stress and inflammation in the gastrointestinal system of modern poultry operations.

7. Countermeasures

Since the origin of intestinal inflammation and oxidative stress is multifactorial, it is important to mention that its prevention must include various approaches. Using probiotics prebiotics, and phytogenic substances turns out to be one of the main strategies for improving the nutrient utilization process (Shehata et al., 2022a). This strategy is focused on reducing the colonization of various pathogens associated with the induction of inflammatory processes in GI. The complex interaction of these microorganisms in relation to the intestinal microflora plays a decisive role in their use and the correct effect in modulating the natural microflora of the host. Coupled with the use of dietary components such as essential oils (Zou et al., 2016) and trace minerals (Chen et al., 2023) turn out to be possibly successful strategies for reducing these negative effects of chronic inflammatory and stress oxidative on the GI.

8. Outlook

The study and understanding of the complex relationship between microflora, diet, environment, genetic factors, as well as the components of the diet of production animals, particularly production birds, make this multidisciplinary approach one of the branches of nutrition with a greater impact in the future before the current remains of food production worldwide.

Research was supported in part by funds provided by USDA-NIFA Sustainable Agriculture Systems, Grant No. 2019-69012-29905. Title of Project: Empowering US Broiler Production for Transformation and Sustainability USDA-NIFA (Sustainable Agriculture Systems): No. 2019-69012-29905.

AVEM
Aviespecialistas de México

References

Aggrey, S.E., Karnuah, A.B., Sebastian, B., Anthony, N.B., 2010. Genetic properties of feed efficiency parameters in meat-type chickens. Genetics Selection Evolution, 42, pp.1-5. 10.1186/1297-9686-42-25.

Alverdy, J., Zaborina, O., Wu, L., 2005. The impact of stress and nutrition on bacterial-host interactions at the intestinal epithelial surface. Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care 8, 205–209. 10.1097/00075197-200503000-00016.

Audy, J., Mathieu, O., Belvis, J., Tompkins, T., 2012. Transcriptomic response of immune signalling pathways in intestinal epithelial cells exposed to lipopolysaccharides, Gram-negative bacteria, or potentially probiotic microbes. Beneficial Microbes, 3, 273–286. 10.3920/BM2012.0027.

Awad, W.A., Hess, C., Hess, M., 2017. Enteric pathogens and their toxin-induced disruption of the intestinal barrier through alteration of tight junctions in chickens. Toxins, 9, 60. 10.3390/toxins9020060.

Barekatain, R., Howarth, G.S., Willson, N.L., Cadogan, D., Wilkinson, S., 2020. Excreta biomarkers in response to different gut barrier dysfunction models and probiotic supplementation in broiler chickens. Plos One, 15, e0237505. 10.1371/journal.pone.0237505.

Barros, T.L., Beer, L.C., Tellez, G., Fuller, A.L., Hargis, B.M., Vuong, C.N., 2020. Research Note: Evaluation of dietary administration of sodium chlorate and sodium nitrate for Histomonas meleagridis prophylaxis in turkeys. Poultry Science, 99, 1983-1987. 10.1016/j.psj.2019.11.055.

Bar-Shira, E., Sklan, D., Friedman, A., 2003. Establishment of immune competence in the avian GALT during the immediate post-hatch period. Developmental and Comparative Immunology, 27, 147–157. 10.1016/s0145-305x(02)00076-9.

Baxter, M.F., Merino-Guzman, R., Latorre, J.D., Mahaffey, B.D., Yang, Y., Teague, K.D., et al., 2017. Optimizing fluorescein isothiocyanate dextran measurement as a biomarker in a 24-h feed restriction model to induce gut permeability in broiler chickens. Frontiers in Veterinary Science, 4, 56. 10.3389/fvets.2017.00056.

Baxter, M.F., Latorre, J.D., Dridi, S., Merino-Guzman, R., Hernandez-Velasco, X., Hargis, B.M., et al., 2019. Identification of serum biomarkers for intestinal integrity in a broiler chicken malabsorption model. Frontiers in Veterinary Science, 6, 144. 10.3389/fvets.2019.00144.

Baxter, M.F., Greene, E.S., Kidd, M.T., Tellez-Isaias, G., Orlowski, S., Dridi, S., 2020. Water amino acid-chelated trace mineral supplementation decreases circulating and intestinal HSP70 and proinflammatory cytokine gene expression in heat-stressed broiler chickens. Journal of Animal Science, 98, skaa049. 10.1093/jas/skaa049.

Beer, L.C., Latorre, J.D., Rochell, S.J., Sun, X., Tellez, G., Fuller, A.L., et al., 2020. Research Note: Evaluation of deoxycholic acid for antihistomonal activity. Poultry Science, 99, 3481-3486. 10.1016/j.psj.2020.03.04.

Beer, L.C., Graham, B.D.M., Barros, T.L., Latorre, J.D., Tellez-Isaias, G., Fuller, A.L., et al., 2022. Evaluation of live-attenuated Histomonas meleagridis isolates as vaccine candidates against wild-type challenge. Poultry Science, 101, 101656. 10.1016/j.psj.2021.101656.

Bedford, M., Classen, H., 1993. An in vitro assay for prediction of broiler intestinal viscosity and growth when fed rye-based diets in the presence of exogenous enzymes. Poultry Science, 72, 137–143. 10.3382/ps.0720137.

Bedford, M., Schulze, H., 1998. Exogenous enzymes for pigs and poultry. Nutrition Research Reviews, 11, 91–114. 10.1079/NRR19980007.

Berger, M., Gray, J.A., Roth, B.L., 2009. The expanded biology of serotonin. Annual Review of Medicine, 60, 355–366. 10.1146/annurev.med.60.042307.110802.

Bickler, S.W., Prieto, J.M., Cauvi, D.M., De Cos, V., Nasamran, C., Ameh, E., et al., 2020. Differential expression of nuclear genes encoding mitochondrial proteins from urban and rural populations in Morocco. Cell Stress Chaperones, 25, 847-856. 10.1007/s12192-020-01108-x.

Binsiya, T., Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Hyder, I., Manimaran, A., Lees, A., Gaughan, J.,.Bhatta, R., 2017. Significance of hypothalamic-pituitary-adrenal axis to adapt to climate change in livestock. International Research Journal of Agricultural and Food Sciences, 2, 1–20. http://www.prudentjournals.org/IRJAFS.

Biswal, J., Vijayalakshmy, K., Bhattacharya, T.K, Rahman, H., 2021. Impact of heat stress on poultry production. World's Poultry Science Journal, 78, 179-196. 10.1080/00439339.2022.2003168.

Blake, D.P., Clark, E.L., Macdonald, S.E., Thenmozhi, V., Kundu, K., Garg, R., et al., 2015. Population, genetic, and antigenic diversity of the apicomplexan Eimeria tenella and their relevance to vaccine development. Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, 112, E5343-E5350. 10.1073/pnas.1506468112

Blake, D.P., Knox, J., Dehaeck, B., Huntington, B., Rathinam, T., Ravipati, V., et al., 2020. Re-calculating the cost of coccidiosis in chickens. Veterinary Research, 51, 115. 10.1186/s13567-020-00837-2.

Bloom, S.R., 1987. Gut hormones in adaptation. Gut, 28, 31–35. 10.1136/gut.28.suppl.31.

Braun, E.J., 1999. Integration of renal and gastrointestinal function. The Journal of Experimental Zoology, 283, 495–499.

Calefi, A., W. Quinteiro-Filho, A. Ferreira, Palermo-Neto, J., 2017. Neuroimmunomodulation and heat stress in poultry. World's Poultry Science Journal, 73, 493–504. 10.1017/S0043933917000472.

Castanon, J. 2007. History of the use of antibiotic as growth promoters in European poultry feeds. Poultry Science, 86, 2466–2471. https://doi.org/10.3382/ps.2007-00249.

Casteleyn, C., Doom, M., Lambrechts, E., Van Den Broeck, W., Simoens, P., Cornillie, P., 2010. Locations of gut-associated lymphoid tissue in the 3-month-old chicken: a review. Avian Pathology, 39, 143–150. 10.1080/03079451003786105.

Cao, C., Chowdhury, V.S., Cline, M.A., Gilbert, E.R., 2021. The Microbiota-Gut-Brain Axis During Heat Stress in Chickens: A Review. Frontiers in Physiology, 12, 752265. 10.3389/fphys.2021.752265.

Celluzzi, A., Masotti, A., 2016. How our other genome controls our epi-genome. Trends in Microbiology, 24, 777–787. 10.1016/j.tim.2016.05.005.

Chapman, H.D., 2008. Coccidiosis in the turkey. Avian Pathology, 37, 205–223. 10.1080/03079450802050689.

Chapman, H.D., 2014. Milestones in avian coccidiosis research: a review. Poultry Science, 93, 501–511. 10.3382/ps.2013-03634.

Chen, J., Tellez, G., Richards, J.D., Escobar, J., 2015. Identification of potential biomarkers for gut barrier failure in broiler chickens. Frontiers in Veterinary Science, 2, 14. 10.3389/fvets.2015.00014.

Chen, Y., Kevil, C.G., 2020. Redox signaling and cardiovascular disease: new paradigms and discoveries. Redox Biology, 37, 101743. doi: 10.1016/j.redox.2020.101743.

Chen, J., Yan, F., Kuttappan, V.A., Wedekind, K., Vázquez-Añón, M., Hancock, D., 2023. Effects of bis-chelated copper in growth performance and gut health in broiler chickens subject to coccidiosis vaccination or coccidia challenge. Frontiers in Physiology, 13, 2775. 10.3389/fphys.2022.991318.

Choct, M., Hughes, R.J., Trimble, R.P., Angkanaporn, K., Annison, G., 1995. Non-starch polysaccharide-degrading enzymes increase the performance of broiler chickens fed wheat of low apparent metabolizable energy. The Journal of Nutrition, 125, 485–492. 10.1093/jn/125.3.485.

Clark, E.L., Tomley, F.M., Blake, D.P., 2017. Are Eimeria genetically diverse, and does it matter? Trends in Parasitology, 33, 231-241. 10.1016/j.pt.2016.08.007.

Cobb-Vantress., 2022. Cobb500 Broiler Performance & Nutrition Supplement. https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/product-guides/5502e86566/2022-Cobb500-Broiler-Performance-Nutrition-Supplement.pdf [Accessed January 20, 2022].

Cohen, H., Zohar, J., Gidron, Y., Matar, M.A., Belkind, D., Loewenthal, U., Kozlovsky, N., Kaplan, Z., 2006. Blunted HPA axis response to stress influences susceptibility to posttraumatic stress response in rats. Biological Psychiatry, 59, 1208-1218. 10.1016/j.biopsych.2005.12.003.

Coles, M.E., Forga, A.J., Señas-Cuesta, R., Graham, B.D., Selby, C.M., Uribe, A.J., et al., 2021. Assessment of Lippia origanoides essential oils in a Salmonella Typhimurium, Eimeria maxima, and Clostridium perfringens challenge model to induce necrotic enteritis in broiler chickens. Animals, 11, 1111. 10.3390/ani11041111.

Collett, S.R., 2012. Nutrition and wet litter problems in poultry. Animal Feed Science and Technology, 173, 65-75. 10.1016/j.anifeedsci.2011.12.013.

Collins, S., Pi, J., Yehuda-Shnaidman, E., 2012. Uncoupling and reactive oxygen species (ROS)-a double-edged sword for beta-cell function "Moderation in all things." Best Practice & Research Clinical Endocrinology and Metabolism, 26, 753–758. 10.1016/j.beem.2012.08.002.

Collins, J.W. and Siegel, P.B., 1987. Human handling, flock size and responses to an E. coli challenge in young chickens. Applied Animal Behaviour Science, 19(1-2), pp.183-188.

Cryan, J.F., Dinan, T.G., 2012. Mind-altering microorganisms: the impact of the gut microbiota on brain and behaviour. Nature Reviews Neuroscience, 13, 701–712. 10.1038/nrn3346.

Dahiya, J., Wilkie, D., Van Kessel, A., Drew, M., 2006. Potential strategies for controlling necrotic enteritis in broiler chickens in post-antibiotic era. Animal Feed Science and Technology, 129, 60–88. 10.1016/j.anifeedsci.2005.12.003.

Dal Pont, G.C., Farnell, M., Farnell, Y., Kogut, M.H., 2020. Dietary factors as triggers of low-grade chronic intestinal inflammation in poultry. Microorganisms, 8, 139. 10.3390/microorganisms8010139.

Dal Pont, G.C., Belote, C.B.L., Lee, A., Bortoluzzi, C., Eyng, C., Sevastiyanova, M., et al., 2021. Novel models for chronic intestinal inflammation in chickens: intestinal inflammation pattern and biomarkers. Frontiers in Immunology, 12, 676628. 10.3389/fimmu.2021.676628.

Debon, S. J., Tester, R.F., 2001. In vitro binding of calcium, iron and zinc by non-starch polysaccharides. Food Chemistry, 73, 401–410. 10.1016/S0308-8146(00)00312-5.

Desvaux, M., Hébraud, M., Talon, R., Henderson I.R., 2009. Secretion and subcellular localizations of bacterial proteins: a semantic awareness issue. Trends in Microbiology, 17, 139–145. 10.1016/j.tim.2009.01.004.

Diaz Carrasco, J.M., Casanova, N.A. and Fernández Miyakawa, M.E., 2019. Microbiota, gut health and chicken productivity: what is the connection?. Microorganisms, 7(10), p.374.

Dibner, J., Atwell, C., Kitchell, M., Shermer, W., Ivey, F., 1996. Feeding of oxidized fats to broilers and swine: effects on enterocyte turnover, hepatocyte proliferation and the gut associated lymphoid tissue. Animal feed Science and Technology, 62, 1–13. 10.1016/S0377-8401(96)01000-0.

Dimitrov, D.V., 2011. The human gutome: Nutrigenomics of the host-microbiome interactions. OMICS, 15, 419–430. 10.1089/omi.2010.0109.

Duke, G.E., 1982. Gastrointestinal motility and its regulation. Poultry Science, 61, 1245–1256. 10.3382/ps.0611245.

Duke, G., Evanson, O., Epstein, D., 1983. Coordination of cecal motility during cecal evacuation. Poultry Science, 62:545–550. 10.3382/ps.0620545.

Duke, G.E., 1999. Mechanisms of excreta formation and elimination in turkeys and ostriches. The Journal of Experimental Zoology, 283, 478–479. 10.1002/(sici)1097-010x(19990301/01)283:4/5<478::aid-jez18>3.0.co;2-e

Dunaway, A., Adedokun, S.A., 2021. Coccidia vaccine challenge and exogenous enzyme supplementation in broiler chicken 1. Effect on digesta viscosity, diet energy utilization, and apparent metabolizable energy value of wheat. Animals, 11, 641. 10.3390/ani11030641.

Edelblum, K. L., Turner. J.R., 2009. The tight junction in inflammatory disease: communication breakdown. Current Opinion in Pharmacology, 9, 715–720. 10.1016/j.coph.2009.06.022

Elson, C.O., Cong, Y., 2012. Host-microbiota interactions in inflammatory bowel disease. Gut Microbes, 3, 332–344. 10.4161/gmic.20228.

Fasano, A., 2011. Zonulin and its regulation of intestinal barrier function: the biological door to inflammation, autoimmunity, and cancer. Physiological Review, 91, 151–175. 10.1152/physrev.00003.2008.

Fasano, A., 2020. All disease begins in the (leaky) gut: Role of zonulin-mediated gut permeability in the pathogenesis of some chronic inflammatory diseases. F1000Res, 9, F1000. 10.12688/f1000research.20510.1.

Feye, K.M., Baxter, M.F.A., Tellez-Isaias, G., Kogut, M.H. and Ricke, S.C., 2020. Influential factors on the composition of the conventionally raised broiler gastrointestinal microbiomes. Poultry science, 99(2), pp.653-659.

Federico, A., Morgillo, F., Tuccillo, C., Ciardiello, F., Loguercio, C., 2007. Chronic inflammation and oxidative stress in human carcinogenesis. International Journal of Cancer, 121, 2381-2386. 10.1002/ijc.23192.

Fernandez-Siurob, I., Retana, M.A., Tellez, G., Arroyo-Navarro, L., Bañuelos-Hernandez, B., Castellanos-Huerta, I., 2014. Assessment of viral interference using a chemical receptor blocker against avian influenza and establishment of protection levels in field outbreaks. Vaccine, 32, 1318-1322. 10.1016/j.vaccine.2014.01.006.

Feye, K., Baxter, M., Tellez-Isaias, G., Kogut, M., Ricke, S., 2020. Influential factors on the composition of the conventionally raised broiler gastrointestinal microbiomes. Poultry Science, 99, 653–659. 10.1016/j.psj.2019.12.013.

Forsythe, P., Sudo, N., Dinan, T., Taylor, V. H., Bienenstock, J., 2010. Mood and gut feelings. Brain, Behavior and Immunity, 24, 9–16. 10.1016/j.bbi.2009.05.058.

Francesch, M., Brufau, J., 2007. Nutritional factors affecting excreta/litter moisture and quality. World's Poultry Science Journal, 60, 64-75. 10.1079/WPS20035.

Frye, R.E., Rose, S., Chacko, J., Wynne, R., Bennuri, S.C., Slattery, J.C., et al., 2016. Modulation of mitochondrial function by the microbiome metabolite propionic acid in autism and control cell lines. Translational Psychiatry, 6, e927. 10.1038/tp.2016.189.

Fukui, H., Xu, X., Miwa, H., 2018. Role of gut microbiota-gut hormone axis in the pathophysiology of functional gastrointestinal disorders. Journal of Neurogastroenterology and Motility, 24, 367. 10.5056/jnm18071.

Gabriel, I., Lessire, M., Mallet, S., Guillot, J., 2006. Microflora of the digestive tract: critical factors and consequences for poultry. World's Poultry Science Journal, 62, 499–511. 10.1017/S0043933906001115.

Gholamiandehkordi, A.R., Timbermont, L., Lanckriet, A., Broeck, W.V.D., Pedersen, K., Dewulf, J., Pasmans, F., Haesebrouck, F., Ducatelle, R., Immerseel, F.V., 2007. Quantification of gut lesions in a subclinical necrotic enteritis model. Avian Pathology, 36, 375–382. 10.1080/03079450701589118.

Gilani, S., Howarth, G.S., Kitessa, S.M., Tran, C.D., Forder, R.E.A., Hughes, R.J., 2017a. New biomarkers for increased intestinal permeability induced by dextran sodium sulphate and fasting in chickens. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 101, e237-e245. 10.1111/jpn.12596. 10.1111/jpn.12596.

Gilani, S., Howarth, G.S., Kitessa, S.M., Tran, C.D., Forder, R.E.A., Hughes, R.J., 2017b. Intestinal permeability induced by lipopolysaccharide and measured by lactulose, rhamnose and mannitol sugars in chickens. Animals, 11, 1174-1179. 10.1017/S1751731116002470.

Goldstein, D.L., 2006. Regulation of the avian kidney by arginine vasotocin. General and Comparative Endocrinology, 147, 78–84. 10.1016/j.ygcen.2005.09.018,

Goossens, E., Debyser, G., Callens, C., De Gussem, M., Dedeurwaerder, A., Devreese, B., et al., 2018. Elevated faecal ovotransferrin concentrations are indicative for intestinal barrier failure in broiler chickens. Veterinary Research, 49, 51. 10.1186/s13567-018-0548-4.

Gostner, J.M., Becker, K., Fuchs, D., Sucher, R., 2013. Redox regulation of the immune response. Redox Report Communications in Free Radical Research, 18, 88–94. 10.1179/1351000213Y.0000000044.

Gray, M.W., 2017. Lynn Margulis and the endosymbiont hypothesis: 50 years later. Molecular Biology of the Cell, 28, 1285–1287. 10.1091/mbc.E16-07-0509.

Gribble, F.M., Reimann, F., 2017. Signalling in the gut endocrine axis. Physiology & Behavior. 176, 183–188. 10.1016/j.physbeh.2017.02.039.

Gribble, F.M., Reimann, F., 2019. Function and mechanisms of enteroendocrine cells and gut hormones in metabolism. Nature Reviews Endocrinology, 15, 226–237. 10.1038/s41574-019-0168-8.

Griffiths, H.R., 2005. ROS as signaling molecules in T cells-evidence for abnormal redox signaling in the autoimmune disease, rheumatoid arthritis. Redox Report Communications in Free Radical Research, 10, 273–280. 10.1179/135100005X83680.

Guilliams, T.G., Edwards, L., 2010. Chronic stress and the hpa axis: clinical assessment and therapeutic considerations. A Review of Natural and Nutraceutical Therapies for Clinical Practice, 9, 1-12. www.pointinstitute.org/wp-content/uploads/2012/10/standard_v_9.2_hpa_axis.pdf

Hall, A.J., Duke, G.E., 2000. Effect of selective gastric intrinsic denervation on gastric motility in turkeys. Poultry Science, 79, 240–244. 10.1093/ps/79.2.240.

Heckert, R.A., Estevez, I., Russek-Cohen, E. and Pettit-Riley, R., 2002. Effects of density and perch availability on the immune status of broilers. Poultry Science, 81(4), pp.451-457.

Hentchel, K. L., Escalante-Semerena, J.C., 2015. Acylation of biomolecules in prokaryotes: a widespread strategy for the control of biological function and metabolic stress. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 79, 321–346. 10.1128/MMBR.00020-15

Hernandez-Patlan, D., Solis-Cruz, B., Patrin Pontin, K., Latorre, J.D., Baxter, M.F., Hernandez-Velasco, X., et al., 2019. Evaluation of the dietary supplementation of a formulation containing ascorbic acid and a solid dispersion of curcumin with boric acid against Salmonella Enteritidis and necrotic enteritis in broiler chickens. Animals, 9, 184. 10.3390/ani9040184.

Hernández-Ramírez, J.O., Merino-Guzmán, R., Téllez-Isaías, G., Vázquez-Durán, A., Méndez-Albores A., 2021. Mitigation of AFB1-related toxic damage to the intestinal epithelium in broiler chickens consumed a yeast cell wall fraction. Frontiers in Veterinary Science, 8, 677965. 10.3389/fvets.2021.677965.

Hess, M., Liebhart, D., Bilic, I., Ganas P., 2015. Histomonas meleagridis—new insights into an old pathogen. Veterinary Parasitology, 208, 67–76. 10.1016/j.vetpar.2014.12.018.

Hu, Y.-J., Wang, Y.-D., Tan, F.-Q., Yang, W.X., 2013. Regulation of paracellular permeability: factors and mechanisms. Molecular Biology Reports, 40, 6123–6142.

Iebba, V., Totino, V., Gagliardi, A., Santangelo, F., Cacciotti, F., Trancassini, M. et al., 2016. Eubiosis and dysbiosis: the two sides of the microbiota. The New Microbiologica, 39, 1–12.

Ilan, Y., 2012. Leaky gut and the liver: a role for bacterial translocation in nonalcoholic steatohepatitis. World Journal of Gastroenterology, 18, 2609-2618. 10.3748/wjg.v18.i21.2609.

Itri, R., Junqueira, H.C., Mertins, O., Baptista, M.S., 2014. Membrane changes under oxidative stress: the impact of oxidized lipids. Biophysical Reviews, 6, 47–61. 10.1007/s12551-013-0128-9.

Jeon, M. K., Klaus, C., Kaemmerer, E., Gassler, N., 2013. Intestinal barrier: Molecular pathways and modifiers. World Journal of Gastrointestinal Pathophysiology, 4, 94. 10.4291/wjgp.v4.i4.94.

Jiang, Z., Schatzmayr, G., Mohnl, M., Applegate, T., 2010. Net effect of an acute phase response—Partial alleviation with probiotic supplementation. Poultry Science, 89, 28–33. 10.3382/ps.2009-00464.

Juruena, M.F., Bourne, M., Young, A.H., Cleare, A.J., 2021. Hypothalamic-pituitary-adrenal axis dysfunction by early life stress. Neuroscience Letters, 759, 136037. 10.1016/j.neulet.2021.136037.

Jones, D.P., Sies, H., 2015. The redox code. Antioxidants Redox Signal, 23, 734–746. 10.1089/ars.2015.6247.

Jonkers, D., Stockbrügger, R., 2003. Probiotics and inflammatory bowel disease. Journal of the Royal Society of Medicine, 96, 167–171.

Kallapura, G., Pumford, N.R., Hernandez-Velasco, X., Hargis, B.M., Tellez, G., 2014. Mechanisms involved in lipopolysaccharide derived ROS and RNS oxidative stress and septic shock. Journal of Microbiology Research and Reviews, 2, 6–11.

Karaca, Z., Grossman, A. and Kelestimur, F., 2021. Investigation of the Hypothalamo-pituitary-adrenal (HPA) axis: a contemporary synthesis. Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders, 22, 179-204. 10.1007/s11154-020-09611-3.

Karasawa, Y., Duke, G.E., 1995. Effects of cecal ligation and colostomy on motility of the rectum, ileum, and cecum in turkeys. Poultry Science, 74, 2029–2034. 10.3382/ps.0742029.

Kelleher, B., Leahy, J., Henihan, A., O'dwyer, T., Sutton, T., Leahy, M., 2002. Advances in poultry litter disposal technology-a review. Bioresources Technology, 83, 27–36. 10.1016/s0960-8524(01)00133-x.

Khansari, N., Shakiba, Y., Mahmoudi, M., 2009. Chronic inflammation and oxidative stress as a major cause of age-related diseases and cancer. Recent Patents on Inflammation & Allergy Drug Discovery, 3, 73–80. doi: 10.2174/187221309787158371

Kiarie, E., Romero, L.F., Nyachoti, C.M., 2013. The role of added feed enzymes in promoting gut health in swine and poultry. Nutrition Research Reviews, 26, 71–88. 10.1017/S0954422413000048.

Kim, W., Patterson, P., 2003. Effect of minerals on activity of microbial uricase to reduce ammonia volatilization in poultry manure. Poultry Science, 82, 223–231. 10.1093/ps/82.2.223.

Kim, Y. S., Ho, S.B., 2010. Intestinal goblet cells and mucins in health and disease: recent insights and progress. Current Gastroenterology Reports, 12, 319–330. 10.1007/s11894-010-0131-2.

Kimball, R.T., Guido, M., Hosner, P.A. and Braun, E.L., 2021. When good mitochondria go bad: Cyto-nuclear discordance in landfowl (Aves: Galliformes). Gene, 801, 145841. 10.1016/j.gene.2021.145841.
Kogut, M.H., Genovese, K.J., Swaggerty, C.L., He, H., Broom, L., 2018. Inflammatory phenotypes in the intestine of poultry: not all inflammation is created equal. Poultry Science, 97, 2339–2346. 10.3382/ps/pey087.
Korniluk, A., Koper, O., Kemona, H., Dymicka-Piekarska, V., 2017. From inflammation to cancer. Irish Journal of Medical Science, 186, 57–62. 10.1007/s11845-016-1464-0.
Korver, D.R., 2012. Implications of changing immune function through nutrition in poultry. Animal Feed Science Technology, 173, 54-64. 10.1016/j.anifeedsci.2011.12.019.
Kuenzel, W., Jurkevich, A., 2010. Molecular neuroendocrine events during stress in poultry. Poultry Science, 89, 832–840. 10.3382/ps.2009-00376.
Kuttappan, V., Berghman, L., Vicuña, E., Latorre, J., Menconi, A., Wolchok, J., 2015. Poultry enteric inflammation model with dextran sodium sulfate mediated chemical induction and feed restriction in broilers. Poultry Science, 94, 1220-1226. 10.3382/ps/pev114
Lagler, J., Schmidt, S., Mitra, T., Stadler, M., Wernsdorf, P., Grafl, B., et al., 2021. Comparative investigation of IFN-γ-producing T cells in chickens and turkeys following vaccination and infection with the extracellular parasite Histomonas meleagridis. Developmental and Comparative Immunology, 116, 103949. 10.1016/j.dci.2020.103949.
Lane, N., 2005. Power, Sex, Suicide: Mitochondria and the Meaning of Life. (Oxford University Press., New York). Pp. 512.
Lara, L. J., Rostagno, M.H., 2013. Impact of heat stress on poultry production. Animals, 3, 356–369. 10.3390/ani3020356.
Latorre, J.D., Hernandez-Velasco, X., Kogut, M.H., Vicente, J.L., Wolfenden, R., Wolfenden, A., et al., 2014. Role of a Bacillus subtilis direct-fed microbial on digesta viscosity, bacterial translocation, and bone mineralization in turkey poults fed with a rye-based diet. Frontiers in Veterinary Science, 1, 26. 10.3389/fvets.2014.00026.
Latorre, J.D., Hernandez-Velasco, X., Bielke, L.R., Vicente, J.L., Wolfenden, R., Menconi, A., et al., 2015. Evaluation of a Bacillus direct-fed microbial candidate on digesta viscosity, bacterial translocation, microbiota composition and bone mineralisation in broiler chickens fed on a rye-based diet. British Poultry Science, 56, 723-732. 10.1080/00071668.2015.1101053.
Latorre, J. D., Hernandez-Velasco, X. Wolfenden, R. E. Vicente, J. L. Wolfenden, A. D. Menconi, A. et al., 2016. Evaluation and selection of Bacillus species based on enzyme production, antimicrobial activity, and biofilm synthesis as Direct-Fed microbial candidates for poultry. Frontiers in Veterinary Science, 3, 95. 10.3389/fvets.2016.00095.
Lauridsen, C., 2019. From oxidative stress to inflammation: redox balance and immune system. Poultry Science, 98, 4240–4246. 10.3382/ps/pey407.
Lazcano, A., Peretó, J., 2021. Prokaryotic symbiotic consortia and the origin of nucleated cells: A critical review of Lynn Margulis hypothesis. Biosystems, 204, 104408. 10.1016/j.biosystems.2021.10440.
Lee, M.Y., Griendling, K.K., 2008. Redox signaling, vascular function, and hypertension. Antioxidants & Redox Signaling, 10, 1045–1059. 10.1089/ars.2007.1986.
Leyva-Diaz, A.A., Hernandez-Patlan, D., Solis-Cruz, B., Adhikari, B., Kwon, Y.M., Latorre, J.D. et al., 2021. Evaluation of curcumin and copper acetate against Salmonella Typhimurium infection, intestinal permeability, and cecal microbiota composition in broiler chickens. Journal of Animal Science and Biotechnology, 12, 1–12. 10.1186/s40104-021-00545-7.
Li, J., Jia, H., Cai, X., Zhong, H., Feng, Q., Sunagawa, S., et al., 2014. An integrated catalog of reference genes in the human gut microbiome. Nature Biotechnology, 32, 834-841. 10.1038/nbt.2942.
Lian, P., Braber, S., Garssen, J., Wichers, H. J., Folkerts, G., Fink-Gremmels, J., Varasteh, S., 2020. Beyond heat stress: intestinal integrity disruption and mechanism-based intervention strategies. Nutrients, 12, 734. 10.3390/nu12030734.
Liang, X., Bushman, F.D., FitzGerald, G.A., 2014. Time in Motion: The molecular clock meets the microbiome. Cell, 159, 469–470. 10.1016/j.cell.2014.10.020.
Lichtenthaler, H.K., 1998. The stress concept in plants: an introduction. Annals of the New York Academy of Sciences, 851, 187–198. 10.1111/j.1749-6632.1998.tb08993.x.
Liebhart, D., Sulejmanovic, T., Grafl, B., Tichy, A., Hess, M., 2013. Vaccination against histomonosis prevents a drop in egg production in layers following challenge. Avian Pathology, 42, 79-84. 10.1080/03079457.2012.760841.
Liebhart, D., Ganas, P., Sulejmanovic, T., Hess, M., 2017. Histomonosis in poultry: previous and current strategies for prevention and therapy. Avian Pathology, 46 ,1–18. 10.1080/03079457.2016.1229458.
Lipton, B.H., 2016. The Biology of Belief: Unleashing the Power of Consciousness, Matter & Miracles. (Hay House Inc., USA), Pp. 312.
Liversidge, A., 1993. Bacterial consciousness: Why spirochetes think as we do. Omni, 16, 10–11.
López-González, I., Aso, E., Carmona, M., Armand-Ugon, M., Blanco, R., Naudi, A.R., et al., 2015. Neuroinflammatory gene regulation, mitochondrial function, oxidative stress, and brain lipid modifications with disease progression in tau P301S transgenic mice as a model of frontotemporal lobar degeneration-tau. Journal of Neuropathology and Experimental Neurology, 74, 975–999. 10.1097/NEN.0000000000000241.
Lu, S., Wei, F., Li, G., 2021. The evolution of the concept of stress and the framework of the stress system. Cell Stress, 5,76. 10.15698/cst2021.06.250.
Lund, M.L., Egerod, K.L., Engelstoft, M.S., Dmytriyeva, O., Theodorsson, E., Patel, B.A., et al., 2018. Enterochromaffin 5-HT cells-A major target for GLP-1 and gut microbial metabolites. Molecular Metabolism, 11, 70–83. 10.1016/j.molmet.2018.03.00.
McAllister, M.M., 2014. Successful vaccines for naturally occurring protozoal diseases of animals should guide human vaccine research: A review of protozoal vaccines and their designs. Parasitology, 141, 624-640. 10.1017/S0031182013002060.
Maslowski, K.M., Mackay, C.R., 2010. Diet, gut microbiota and immune responses. Nature Immunology, 12, 5–9. 10.1038/ni0111-5.
Mayer, E.A., Knight, R., Mazmanian, S.K., Cryan, J.F., Tillisch, K., 2014. Gut microbes and the brain: paradigm shift in neuroscience. The Journal of Neuroscience, 34, 15490–15496. 10.1523/JNEUROSCI.3299-14.2014.
Megur, A., Baltriukiene, D., Bukelskiene, V., Burokas A., 2021. The microbiota-gut-brain axis and Alzheimer's Disease: neuroinflammation is to blame? Nutrients, 13, 37. 10.1523/JNEUROSCI.3299-14.201.

Menconi, A., Hernandez-Velasco, X., Vicuña, E., Kuttappan, V., Faulkner, O., Tellez, G., et al., 2015. Histopathological and morphometric changes induced by a dextran sodium sulfate (DSS) model in broilers. Poultry Science, 94, 906-911. 10.3382/ps/pev054.

Mishra, B., Jha, R., 2019. Oxidative stress in the poultry gut: Potential challenges and interventions. Frontiers in Veterinary Science, 6, 60. 10.3389/fvets.2019.00060.

Mitra, T., Kidane, F.A., Hess, M., Liebhart, D., 2018. Unravelling the immunity of poultry against the extracellular protozoan parasite Histomonas meleagridis is a cornerstone for vaccine development: A review. Frontiers in Immunology, 9, 2518. 10.3389/fimmu.2018.02518.

Mitra, T., Bramberger, B., Bilic, I., Hess, M., Liebhart, D., 2021. Vaccination against the protozoan parasite Histomonas meleagridis primes the activation of toll-like receptors in turkeys and chickens determined by a set of newly developed multiplex RT-qPCRs. Vaccines, 9, 960. 10.3390/vaccines9090960.

Moore, P.A., Miles, D., Burns, R., Pote, D., Berg, K., Choi, IH., 2011. Ammonia emission factors from broiler litter in barns, in storage, and after land application. Journal of Environmental Quality, 40, 1395–1404. 10.2134/jeq2009.0383.

Morales-Barrera, E., Calhoun, N., Lobato-Tapia, J.L., Lucca, V., Prado-Rebolledo, O., Hernandez-Velasco, X., et al., 2016. Risks involved in the use of enrofloxacin for Salmonella Enteritidis or Salmonella Heidelberg in commercial poultry. Frontiers in Veterinary Science, 3 ,72. 10.3389/fvets.2016.00072.

Morales-Mena, A., Martínez-González, S., Teague, K.D., Graham, L.E., Señas-Cuesta, R., Vuong, C.N., et al., 2020. Assessment of fermented soybean meal on Salmonella Typhimurium infection in neonatal turkey poults. Animals, 10, 1849. 10.3390/ani1010184.

Mullenix, G.J., Greene, E.S., Emami, N.K., Tellez-Isaias, G., Bottje, W.G., Erf, G.F., et al., 2021. Spirulina Platensis inclusion reverses circulating pro-inflammatory (chemo) cytokine profiles in broilers fed low-protein diets. Frontiers in Veterinary Science, 8, 640968. 10.3389/fvets.2021.640968.

Naga Raja Kumari, K. and Narendra Nath, D., 2018. Ameliorative measures to counter heat stress in poultry. World's Poultry Science Journal, 74(1), pp.117-130.

Nahm, K., 2003. Evaluation of the nitrogen content in poultry manure. World's Poultry Science Journal, 59, 77–88. 10.1079/WPS20030004.

Negri, S., Commisso, M., Avesani, L., Guzzo, F., 2021. The case of tryptamine and serotonin in plants: a mysterious precursor for an illustrious metabolite. Journal of Experimental Botany, 72, 5336–5355. 10.1093/jxb/erab220.

Neuman, H., Debelius, J.W., Knight, R., Koren, O., 2015. Microbial endocrinology: the interplay between the microbiota and the endocrine system. FEMS Microbiology Reviews, 39, 509-521. 10.1093/femsre/fuu010.

Nicol, C.J., Brown, S.N., Glen, E., Pope, S.J., Short, F.J., Warriss, P.D., Zimmerman, P.H. and Wilkins, L.J., 2006. Effects of stocking density, flock size and management on the welfare of laying hens in single-tier aviaries. British poultry science, 47(2), pp.135-146.

Niki, E., Yamamoto, Y., Komuro, E., Sato, K., 1991. Membrane damage due to lipid oxidation. The American Journal of Clinical Nutrition, 53, 201S–205S. 10.1093/ajcn/53.1.201S.

Noguchi, M., Hiwatashi, N., Liu, Z., Toyota, T., 1998. Secretion imbalance between tumour necrosis factor and its inhibitor in inflammatory bowel disease. Gut, 43, 203–209. 10.1136/gut.43.2.203.

Oakley, B.B., Lillehoj, H.S., Kogut, M.H., Kim, W.K., Maurer, J.J., Pedroso, A., Lee, M.D., Collett, S.R., Johnson, T.J. and Cox, N.A., 2014. The chicken gastrointestinal microbiome. FEMS microbiology letters, 360(2), pp.100-112.

Osellame, L.D., Blacker, T.S., Duchen, M.R., 2012. Cellular and molecular mechanisms of mitochondrial function. Best Practice and Research, Clinical Endocrinology and Metabolism, 26, 711–723. 10.1016/j.beem.2012.05.003.

Pastorelli, L., De Salvo, C., Mercado, J.R., Vecchi, M., Pizarro, T.T., 2013. Central role of the gut epithelial barrier in the pathogenesis of chronic intestinal inflammation: lessons learned from animal models and human genetics. Frontiers in Immunology, 4, 280. 10.3389/fimmu.2013.00280.

Peralta, M.F., Magnoli, A., Alustiza, F., Nilson, A., Miazzo, R., Vivas, A., 2017. Gut-associated lymphoid tissue: A key tissue inside the mucosal immune system of hens immunized with Escherichia coli F4. Frontiers in Immunology, 8, 568. 10.3389/fimmu.2017.00568.

Petrone-Garcia, V.M., Lopez-Arellano, R., Patiño, G.R., Rodríguez, M.A.C., Hernandez-Patlan, D., Solis-Cruz, B., Hernandez-Velasco, X., et al., 2021. Curcumin reduces enteric isoprostane 8-iso-PGF2α and prostaglandin GF2α in specific pathogen-free Leghorn chickens challenged with Eimeria maxima. Scientific Reports, 11, 1-9. 10.1038/s41598-021-90679-5.

Porter Jr, R.E., 1998. Bacterial enteritides of poultry. Poultry Science, 77, 1159–1165. 10.1093/ps/77.8.1159.

Qureshi, M., 2003. Avian macrophage and immune response: An overview. Poultry Science, 82, 691–698. 10.1093/ps/82.5.691.

Rao, J.N., Wang, J.Y., 2010. Role of GI hormones on gut mucosal growth,. in: Regulation of Gastrointestinal Mucosal Growth. (Morgan & Claypool Life Sciences: San Rafael, CA), 21-33. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK54093/

Rigottier-Gois, L., 2013. Dysbiosis in inflammatory bowel diseases: the oxygen hypothesis. The ISME Journal, 7, 1256–1261. 10.1038/ismej.2013.80.

Rimet, C.S., Maurer, J.J., Berghaus, R.D., Jordan, B.J., da Silva, L.H.A., Stabler, L.J., et al., 2019. The contribution of Eimeria coinfection and intestinal inflammation to cecal colonization and systemic spread of Salmonella typhimurium deficient in tetrathionate reductase or type III secretion systems Salmonella pathogenicity island 1 or 2. Avian Diseases, 63, 559-567. 10.1637/aviandiseases-D-19-00082.

Rose, M.E., Long, P.L., Bradley, J.W., 1975. Immune responses to infections with coccidia in chickens: gut hypersensitivity. Parasitology, 71, 357–368. 10.1017/s0031182000047132.

Rostagno, M.H., 2020. Effects of heat stress on the gut health of poultry. Journal of Animal Science, 98, p.skaa090. 10.1093/jas/skaa090.

Rubartelli, A., Lotze, M.T., 2007. Inside, outside, upside down: damage-associated molecular-pattern molecules (DAMPs) and redox. Trends In Immunology, 28, 429–436. 10.1016/j.it.2007.08.004.

Ruff, J., Barros, T. L. Tellez Jr, G. Blankenship, J. Lester, H. Graham, B.D., et al., 2020. Research Note: Evaluation of a heat stress model to induce gastrointestinal leakage in broiler chickens. Poultry Science, 99, 1687–1692. 10.1016/j.psj.2019.10.075.

Ruff, J., Tellez, G., Forga, A.J., Señas-Cuesta, R., Vuong, C.N., Greene, E.S., et al., 2021. Evaluation of three formulations of essential oils in broiler chickens under cyclic heat stress. Animals, 11, 1084. 10.3390/ani11041084.

Ruppin, H., Bar-Meir, S., Soergel, K.H., Wood, C.M. and Schmitt Jr, M.G., 1980. Absorption of short-chain fatty acids by the colon. Gastroenterology, 78, 1500-1507. 10.1016/S0016-5085(19)30508-6.

Sagan, L., 1967. On the origin of mitosing cells. Journal of Theoretical Biology, 14, 225–274. 10.1016/0022-5193(67)90079-3.
Sakamoto, K., Hirose, H., Onizuka, A.,Hayashi, M., Futamura, N., Kawamura, Y., Ezaki, T., 2000. Quantitative study of changes in intestinal morphology and mucus gel on total parenteral nutrition in rats. The Journal of Surgical Research, 94, 99–106. 10.1006/jsre.2000.5937.
Salminen, S., Isolauri, E., 2006. Intestinal colonization, microbiota, and probiotics. The Journal of Pediatrics, 149, S115–S120. 10.1016/j.jpeds.2006.06.062.
Saraiva, M., Rodrigues Alves, L.B., Monte, D.F.M., Ferreira, T., Benevides, V.P., Barbosa, F.O., et al., 2021. Deciphering the role of ttrA and pduA genes for Salmonella enterica serovars in a chicken infection model. Avian Pathology, 50 ,257–268. doi: 10.1080/03079457.2021.1909703.
Schneider, S., Wright, C.M., Heuckeroth, R.O., 2019. Unexpected roles for the second brain: enteric nervous system as master regulator of bowel function. Annual Review of Physiology, 81, 235-259. 10.1146/annurev-physiol-021317-121515.
Schulzke, J.D., Ploeger, S., Amasheh, M., Fromm, A., Zeissig, S., Troeger, H., Richter, J., Bojarski, C., Schumann, M., Fromm, M., 2009. Epithelial tight junctions in intestinal inflammation. Annals of the New York Academy of Sciences, 1165, 294–300. 10.1111/j.1749-6632.2009.04062.x.
Sears, C.L., Kaper, J.B., 1996. Enteric bacterial toxins: mechanisms of action and linkage to intestinal secretion. Microbiological Reviews, 60, 167–215. 10.1128/mr.60.1.167-215.199.
Sekirov, I., Russell, S.L., Antunes, L.C.M., Finlay, B.B., 2010. Gut microbiota in health and disease. Physiological Reviews, 90, 859–904. 10.1152/physrev.00045.2009.
Selye, H., 1975. Confusion and controversy in the stress field. Journal of Human Stress, 1, 37-44. 10.1080/0097840X.1975.9940406.
Sender, R., Fuchs, S., Milo, R., 2016. Revised estimates for the number of human and bacteria cells in the body. PLoS Biology, 14, e1002533. 10.1371/journal.pbio.1002533.
Sharma, R., Tepas III, J.J., Hudak, M.L., Mollitt, D.L., Wludyka, P.S., Teng, R.-J., Premachandra, B.R., 2007. Neonatal gut barrier and multiple organ failure: role of endotoxin and proinflammatory cytokines in sepsis and necrotizing enterocolitis. Journal of Pediatric Surgery, 42, 454–461. 10.1016/j.jpedsurg.2006.10.038.
Sharma, R., Young, C., Neu, J., 2010. Molecular modulation of intestinal epithelial barrier: contribution of microbiota. Journal of Biomedicine and Biotechnology, 2010, 305879. 10.1155/2010/305879.
Sherwin, E., Rea, K., Dinan, T.G., Crya, J.F., 2016. A gut (microbiome) feeling about the brain. Current Opinion in Gastroenterology, 32, 96–102. 10.1097/MOG.0000000000000244.
Shehata, A. A., Yalçın, S., Latorre, J. D., Basiouni, S., Attia, Y. A., Abd El-Wahab, et al., 2022a. Probiotics, prebiotics, and phytogenic substances for optimizing gut health in poultry. Microorganisms, 10, 395. 10.3390/microorganisms10020395.
Shehata, A.A., Attia, Y., Khafaga, A.F., Farooq, M.Z., El-Seedi, H.R., Eisenreich, W. and Tellez-Isaias, G., 2022b. Restoring healthy gut microbiome in poultry using alternative feed additives with particular attention to phytogenic substances: Challenges and prospects. Ger. J. Vet. Res, 2, pp.32-42.
Shivaramaiah, C., Barta, J.R., Hernandez-Velasco, X., Téllez, G., Hargis, B.M., 2014. Coccidiosis: recent advancements in the immunobiology of Eimeria species, preventive measures, and the importance of vaccination as a control tool against these Apicomplexan parasites. Veterinary Medicine, 5, 23-34. 10.2147/VMRR.S57839.
Slavich, G.M., Irwin, M.R., 2014. From stress to inflammation and major depressive disorder: a social signal transduction theory of depression. Psychological Bulletin, 140, 774-815. 10.1037/a0035302.
Smatti, M.K., Cyprian, F.S., Nasrallah, G.K., Al Thani, A.A., Almishal, R.O., Yassine, H.M., 2019. Viruses and autoimmunity: a review on the potential interaction and molecular mechanisms. Viruses, 11, 762. 10.3390/v11080762.
Solis-Cruz, B., Hernandez-Patlan, D., Petrone, V.M., Pontin, K.P., Latorre, J.D., Beyssac, E., et al., (2019). Evaluation of a Bacillus-based direct-fed microbial on aflatoxin B1 toxic effects, performance, immunologic status, and serum biochemical parameters in broiler chickens. Avian Diseases, 63, 659–669. 10.1637/aviandiseases-D-19-00100.
Soutter, F., Werling, D., Kim, S., Pastor-Fernández, I., Marugán-Hernández, V., Tomley, F.M., et al., 2021. Impact of Eimeria tenella oocyst dose on parasite replication, lesion score and cytokine transcription in the caeca in three breeds of commercial layer chickens. Frontiers in Veterinary Science, 8, 640041. 10.3389/fvets.2021.640041.
Stecher, B., 2015. The roles of inflammation, nutrient availability and the commensal microbiota in enteric pathogen infection. Microbiology Spectrum, 3, 3.3. 10.1128/microbiolspec.MBP-0008-2014.
Steed, E., Balda, M.S., Matter, K., 2010. Dynamics and functions of tight junctions. Trends in Cell Biology, 20, 142–149. 10.1016/j.tcb.2009.12.002.
Sulejmanovic, T., Liebhart, D., Hess, M., 2013. In vitro attenuated Histomonas meleagridis does not revert to virulence, following serial in vivo passages in turkeys or chickens. Vaccine, 31, 5443–5450. 10.1016/j.vaccine.2013.08.098.
Sulejmanovic, T., Bilic, I., Hess, M., Liebhart, D., 2016. An in vitro attenuated strain of Histomonas meleagridis provides cross-protective immunity in turkeys against heterologous virulent isolates. Avian Pathology, 45, 46-53. 10.1080/03079457.2015.1117057.
Sun, L., Wang, X., Saredy J., Yuan, Z., Yang, X., Wang, H., 2020. Innate-adaptive immunity interplay and redox regulation in immune response. Redox Biology, 37, 101759. 10.1016/j.redox.2020.101759.
Teirlynck, E., Bjerrum, L., Eeckhaut, V., Huygebaert, G., Pasmans, F.. Haesebrouck, F., Dewulf, J., Ducatelle, R., Van Immerseel, F., 2009. The cereal type in feed influences gut wall morphology and intestinal immune cell infiltration in broiler chickens. British Journal of Nutrition, 102, 1453–1461. 10.1017/S0007114509990407.
Teirlynck, E., Gussem, M., Dewulf, J., Haesebrouck, F., Ducatelle, R., Van Immerseel, F., 2011. Morphometric evaluation of “dysbacteriosis” in broilers. Avian Pathology, 40, 139–144. 10.1080/03079457.2010.543414.
Tellez, G., Latorre, J.D., Kuttappan, V.A., Kogut, M.H., Wolfenden, A., Hernandez-Velasco, X., et al., 2014. Utilization of rye as energy source affects bacterial translocation, intestinal viscosity, microbiota composition, and bone mineralization in broiler chickens. Frontiers in Genetics, 5, 339. 10.3389/fgene.2014.00339.
Tellez, G., Latorre, J.D., Kuttappan, V.A., Hargis, N.M., Hernandez-Velasco, X., 2015. Rye affects bacterial translocation, intestinal viscosity, microbiota composition and bone mineralization in turkey poults. PLoS One, 10, e0122390. 10.1371/journal.pone.0122390.

Tellez-Isaias, G., Christine, N., Brittany, D., Callie, M., Lucas, E., Roberto, S, et al., 2021. Developing probiotics, prebiotics, and organic acids to control Salmonella spp. in commercial turkeys at the University of Arkansas USA. German Journal of Veterinary Research, 1, 7–12. 10.51585/gjvr.2021.3.0014.

Tellez Jr, G., Arreguin-Nava, M., Maguey, J., Michel, M., Latorre, J., Merino-Guzman, R., et al., 2020. Effect of Bacillus-direct-fed microbial on leaky gut, serum peptide YY concentration, bone mineralization, and ammonia excretion in neonatal female turkey poults fed with a rye-based diet. Poultry Science, 99, 4514–4520. 10.1016/j.psj.2020.06.018.

Thøfner, I.C.N., Liebhart, D., Hess, M., Schou, T.W., Hess, C., Ivarsen, E., et al., 2012. Antihistomonal effects of artemisinin and Artemisia annua extracts in vitro could not be confirmed by in vivo experiments in turkeys and chickens. Avian Pathology, 41, 487–496. 10.1080/03079457.2012.714459.

Tlaskalová-Hogenová, H., Stvepánková, R., Hudcovic, T., Tuvcková, L., Cukrowska, B., Lodinová-Zádniková, R., et al., 2004. Commensal bacteria (normal microflora), mucosal immunity and chronic inflammatory and autoimmune diseases. Immunology Letters, 93, 97–108. 10.1016/j.imlet.2004.02.005.

Torres-Rodriguez, A., Higgins, S., Vicente, J., Wolfenden, A., Gaona-Ramirez, G., Barton, J., et al. , 2007. Effect of lactose as a prebiotic on turkey body weight under commercial conditions. J. Appl. Poult. Res. 16:635–641. doi: 10.3382/japr.2006-00127

Ulluwishewa, D., Anderson, R.C., McNabb, W.C., Moughan, P.J., Wells, J.M., Roy, N.C., 2011. Regulation of tight junction permeability by intestinal bacteria and dietary components. The Journal of Nutrition, 141, 769–776. 10.3945/jn.110.135657.

Van der Hoeven-Hangoor, E., Rademaker, C., Paton, N., Verstegen, M., Hendriks, W., 2014. Evaluation of free water and water activity measurements as functional alternatives to total moisture content in broiler excreta and litter samples. Poultry Science, 93, 1782–1792. 10.3382/ps.2013-03776

Vicuña, E., Kuttappan, V., Galarza-Seeber, R., Latorre, J., Faulkner, O., Hargis, B., et al., 2015. Effect of dexamethasone in feed on intestinal permeability, differential white blood cell counts, and immune organs in broiler chicks. Poultry Science, 94, 2075-2080. 10.3382/ps/pev211.

Vighi, G., Marcucci, F., Sensi, L., Di Cara, G., Frati, F., 2008. Allergy and the gastrointestinal system. Clinical and Experimental Immunology, 153, 3–6. 10.1111/j.1365-2249.2008.03713.x.

Vuong, C.N., Mullenix, G.J., Kidd, M.T., Bottje, W.G., Hargis, B.M., Tellez-Isaias, G., 2021. Research Note: Modified serum fluorescein isothiocyanate dextran (FITC-d) assay procedure to determine intestinal permeability in poultry fed diets high in natural or synthetic pigments. Poultry Science, 100, 101138. 10.1016/j.psj.2021.101138.

Wallis, J.W., Aerts, J., Groenen, M.A., Crooijmans, R.P., Layman, D., Graves, T.A., et al., 2004. A physical map of the chicken genome. Nature, 432, 761–764. 10.1038/nature03030.

Weiss, G.A., Hennet, T., 2017. Mechanisms and consequences of intestinal dysbiosis. Cell and Molecular Life Science, 74, 2959–2977. 10.1007/s00018-017-2509-x.

Wickramasuriya, S.S., Park, I., Lee, K., Lee, Y., Kim, W.H., Nam, H., Lillehoj, H.S., 2022. Role of physiology, immunity, microbiota, and infectious diseases in the gut health of poultry. Vaccines, 10, 172. 10.3390/vaccines10020172.

Wideman, R.F., Prisby, R.D., 2011. Bone circulatory disturbances in the development of spontaneous bacterial chondronecrosis with osteomyelitis: a translational model for the pathogenesis of femoral head necrosis. Frontiers in Endocrinology, 3, 183–183. doi: 10.3389/fendo.2012.00183.

Wideman, R., Al-Rubaye, A., Kwon, Y., Blankenship, J., Lester, H., Mitchell, H., Pevzner, I., Lohrmann, T., Schleifer, J., 2015. Prophylactic administration of a combined prebiotic and probiotic, or therapeutic administration of enrofloxacin, to reduce the incidence of bacterial chondronecrosis with osteomyelitis in broilers. Poultry Science, 94, 25–36. 10.3382/ps/peu025.

Williams, R., 2005. Intercurrent coccidiosis and necrotic enteritis of chickens: rational, integrated disease management by maintenance of gut integrity. Avian Pathology, 34, 159–180. 10.1080/03079450500112195.

Wink, D.A., Hines, H.B., Cheng, R.Y., Switzer, C.H., Flores-Santana, W., Vitek, M.P., et al., 2011. Nitric oxide and redox mechanisms in the immune response. Journal of Leukocite Biology, 89, 873–891. 10.1189/jlb.1010550.

Winter, S.E., Keestra, A.M., Tsolis, R.M., Bäumler, A.J., 2010a. The blessings and curses of intestinal inflammation. Cell Host and Microbe, 8, 36–43. 10.1016/j.chom.2010.06.003

Winter, S.E., Thiennimitr, P, Winter, M.G., Butler, B.P., Huseby, D.L., Crawford, R.W., et al., 2010b. Gut inflammation provides a respiratory electron acceptor for Salmonella. Nature, 467, 426–429. 10.1038/nature09415.

Wu, R.Y., Määttänen, P., Napper, S., Scruten, E., Li, B., Koike, Y., et al., 2017. Non-digestible oligosaccharides directly regulate host kinome to modulate host inflammatory responses without alterations in the gut microbiota. Microbiome, 5, 135. 10.1186/s40168-017-0357-4.

Yamamoto, M.L., Maier, I., Dang, A.T., Berry, D., Liu, J., Ruegger, P.M., Yang, J.I., Soto, P.A., Presley, L.L., Reliene, R., Westbrook, A.M., 2013. Intestinal bacteria modify lymphoma incidence and latency by affecting systemic inflammatory state, oxidative stress, and leukocyte genotoxicity. Cancer Research, 73, 4222-4232. 10.1158/0008-5472.CAN-13-0022.

Yegani, M., Korver, D., 2008. Factors affecting intestinal health in poultry. Poultry Science, 87, 2052–2063. 10.3382/ps.2008-00091.

Yerpes, M., P. Llonch, and X. Manteca. 2020. Factors associated with cumulative first-week mortality in broiler chicks. Animals, 10, 310.

Yerpes, M., Llonch, P., Manteca, X. 2021. Effect of environmental conditions during transport on chick weight loss and mortality. Poultry Science, 100, 129–137. 10.1016/j.psj.2020.10.003. Epub 2020 Oct 10.

Yeoman, C.J., Chia, N., Jeraldo, P., Sipos, M., Goldenfeld, N.D. and White, B.A., 2012. The microbiome of the chicken gastrointestinal tract. Animal health research reviews, 13(1), pp.89-99.

Zhu, B., Wang, X., Li, L., 2010. Human gut microbiome: the second genome of human body. Protein and Cell 1, 718-725. 10.1007/s13238-010-0093-z

Zou, Y., Xiang, Q., Wang, J., Peng, J., Wei, H., 2016. Oregano essential oil improves intestinal morphology and expression of tight junction proteins associated with modulation of selected intestinal bacteria and immune status in a pig model. BioMed Research International, 2016, 5436738. 10.1155/2016/5436738.

Zou, X., Ji, J., Wang, J., Qu, H., Shu, D.M., Guo, F.Y., et al., 2018. Dextran sulphate sodium (DSS) causes intestinal histopathology and inflammatory changes consistent with increased gut leakiness in chickens. British Poultry Science, 59, 166-172. 10.1080/00071668.2017.1418498.

REVISIÓN: MIGRACIÓN DEL VIRUS DE INFLUENZA AVIAR H5N1 A AMÉRICA

Aranda Jimenez Alejandro Jacobo[1], Víctor Manuel Petrone-García[2], Gabriela Aguilar Tipacamú[1], Inkar Castellanos-Huerta[3], Guillermo Tellez-Isaías[3]
[1]Universidad Autónoma de Querétaro, [2]FES Cuautitlán UNAM,
[3]Universidad de Arkansas
aaranda9804@gmail.com

Resumen

Debido a que la diversidad de los virus de Influenza A se centran principalmente en los órdenes de *Anseriformes* y *Charadriiformes*, es de vital importancia considerar que la transmisión y diseminación de diversas cepas virales a partir de las aves migratorias presentes en dichos órdenes es resultado de la conjunción de distintas variables, como la especie hospedadora, los patrones migratorios y la simpatría entre las especies. En base al análisis en conjunto de dichas variables se fue determinando que para el subtipo de HPAI H5, la principal fuente de transmisión fueron los gansos y cisnes, quienes actuaron como portadores hacia patos salvajes, gaviotas y aves domésticas; posteriormente, las gaviotas promovieron una diseminación hacia otros hospedadores o regiones en base a sus patrones migratorios y estado inmunológico. El siguiente análisis epidemiológico, se enfocará en proveer un marco en la introducción del virus de HPAI H5N1 del linaje A/Goose/Guangdong/1/1996 (GsGd) desde Eurasia hasta su aparición en el invierno de 2021 en América del Norte; mediante la conjunción de diversos estudios enfocados en explicar los posibles mecanismos implicados en la aparición del virus en el continente; considerando desde relaciones filogenéticas, patrones migratorios de las aves silvestres, hasta las actividades antropogénicas. Debido a que el brote de H5N1 en el continente incluye ya en su expansión a México, Centroamérica y Sudamérica, de acuerdo con los reportes emitidos por diversas dependencias hasta marzo de 2023.

Palabras Clave: Influenza aviar; virus de influenza aviar altamente patógena A(H5N1); GsGd; brotes epidemiológicos; patrones migratorios; aves silvestre y corral.

Abstract

Because the diversity of Influenza A viruses is mainly focused on orders of *Anseriformes* and *Charadriiformes*, it is vital to consider that the transmission and dissemination of various viral strains from migratory birds present in these orders is the result of the conjunction of different variables, such as the host species, migratory patterns and species sympatry. Based on the overall analysis of these variables, it was determined that for the subtype of HPAI H5, the main source of transmission for this causal agent were geese and swans, who acted as carriers to wild ducks, gulls and domestic birds; subsequently, seagulls promoted dissemination to other hosts or regions based on their migratory patterns and immune status. The following epidemiological análisis Will focus on providing a framework for the introduction of HPAI H5N1 viruses of the A/Goose/Guangdong/1/1996 (GsGd) linaje from Eurasia to its appearance in the winter of 2021 in North America; throught the conjuction of varous studies focused on explaning the posible mechanisms involved in the emergence pf the virus in the continente. Because the outbreak of H5N1 in the continent already includes Mexico, Central America and South America, according to reports issued by various agencies until March 2023.

Key Words: avian Influenza; Highly Pathogenic Avian Influenza A (H5N1) viruses; GsGd; epidemiologic outbreaks; migratory patterns; wild and poultry birds

AVEM Aviespecialistas de México

Introducción

El agente etiológico responsable de generar las manifestaciones clínicas de la Influenza aviar (IA) es miembro de la familia *Orthomyxoviridae*. Dentro de esta familia se distinguen cuatro géneros de virus de influenza: *Alphainfluenzavirus*, *Betainfluenzavirus*, *Gammainfluenzavirus* y *Deltainfluenzavirus*; de los cuales cada uno consta de una sola especie, Influenza tipo A (Influenza A, IAVs), tipo B (Influenza B, IBVs), tipo C (Influenza C, ICVs) y tipo D (Influenza D, IDVs) respectivamente (1–3). El IAv presenta un genoma conformado por ocho segmentos de RNA monocatenario de sentido negativo (ssRNA (-)) que codifican de 10 a 17 proteínas dependiendo la cepa (2). La clasificación de estos virus basada en subtipos depende de la caracterización serológica de dos glicoproteínas de superficie, que son la hemaglutinina (HA) y neuraminidasa (NA); de las cuales se han identificado 18 y 11 subtipos respectivamente (4).

Los virus de Influenza A cuentan con una distribución mundial, en donde las aves silvestres en especial las aves acuáticas participan como los principales reservorios de este agente causal (5). Las aves que conforman el orden de *Anseriformes*

(en especial los patos, gansos y cisnes) y de *Charadriiformes* (específicamente gaviotas, estérnidos y playeros) son las responsables de actuar como reservorio natural de los virus de Influenza aviar de baja patogenicidad (LPAI) de los subtipos H1-H16 y N1-N9, es decir, participan como portadores asintomáticos de los virus de LPAI (6–8). Con lo descrito anteriormente, los virus de LPAI se presentan con mayor frecuencia en miembros de la subfamilia *Anatinae* en especial el ánade real (*Anas platyrhynchos*) quien es portador de los subtipos H1-H12; en cambio, para el orden de *Charadriiformes* las familias *Scolopacidae*, *Charadriidae*, *Alcidae*, y *Laridae*; siendo las gaviotas (pertenecen a la familia *Laridae)* los resorvorios para los subtipos H13 y H16 (6,9). Por lo tanto, de esta forma dichas especies pueden transmitir de forma directa o indirecta el virus a otros hospederos potenciales, como son las aves domésticas, mamíferos domésticos y salvajes, inclusive al ser humano. Estos virus tienden a generar cuadros clínicos de leves a graves en las aves domésticas; sin embargo, los subtipos **H5** y **H7** al tener como hospedador a las aves domésticas sufren diversas mutaciones en donde se convierten en virus de Influenza aviar de alta patogenicidad (HPAI), provocando enfermades graves y con gran mortalidad en aves principalmente del orden de *Galliformes* (spill-over); sin embargo, debido a que las aves silvestres normalmente no se infectan con virus de HPAI, serían las aves domésticas las responsables de transmitirlo hacia las aves silvestres (spill-back) donde circularan de forma asintomática o desencadenar cuadros clínicos y mortalidad (8).

Anteriormente, las infecciones ocasionadas por HPAI presentes en las poblaciones de aves domésticas, no circulaban en aves silvestres; con la excepción del brote aislado en charranes comunes (*Sterna hirundo*) en Sudáfrica en 1961. Pero a partir del surgimiento del virus HPAI H5N1 del linaje A/goose/Guangdong/1/1996 (GsGd), aislado por primera vez en un ganso doméstico de China en 1996, la presencia de brotes en aves silvestres empezaron a desarrollarse rápidamente (10). En relación a la dinámica de transmisión, se ha determinado que el origen de los saltos del virus presente en las aves silvestres hacia las aves domésticas involucró la dispersión de gansos y cisnes a sus contrapartes domésticas; por lo tanto, para poderse desarrollar un salto inverso, es decir, un salto hacia poblaciones de aves silvestres, los gansos tuvieron un papel fundamental, al participar no solo como portadores hacia los patos domésticos, quienes actuaron a su vez como transmisores a pollos y pavos; si no también en ser la interfaz doméstico-silvestre al lograr infectar no solo a sus contrapartes salvajes sino también a una gama amplia de aves terrestres (córvidos, paseriformes y rapaces) (7). A pesar de que los mecanismos relacionados con el hospedero tienen una fuerte relación con la interfaz de aves domésticas y silvestres, también los mecanismos relacionados con el virus juegan un papel en el desarrollo de dicha interfaz, ya que los reordenamientos genómicos del virus HPAI H5N1 GsGd tienen su origen de los virus de LPAI circulantes en diversas poblaciones de aves silvestres, lo que nos indicaría que las aves silvestres actuarían como donantes de segmentos genómicos e implicar su susceptibilidad de adquirir infecciones por este subtipo de Influenza aviar(8). Así mismo, de forma indirecta el impacto de las actividades humanes ha provocado alteraciones no solo las cadenas tróficas de diversas aves, sino también ampliando y modificando sus patrones migratorios relacionados por los cambios en el patrón climático del planeta (7,9,11).

Al conjuntar dichos mecanismos, la dispersión de los virus HPAI H5 euroasiáticos descendientes de Gs/GD que no se habían detectado en América del Norte antes de 2014, dieron origen al primer brote en aves silvestres por virus HPAI H5N8 pertenecientes al clado 2.3.4.4; lográndose determinar que la introducción del virus al continente fue través de las aves migratorias que se desplazan de Asia a través de la ruta migratoria del Pacífico y luego se extienden a las rutas migratorias Central y de Mississippi. Sin embargo, el brote de HPIA H5N1 de origen euroasiático perteneciente al clado 2.3.4.4b que se aisló en invierno de 2021 en la provincia de Newfoundland, Canadá, presentó una dispersión transatlántica hacia América del Norte por la migración de aves provenientes del noroeste de Europa a través de Islandia, Groenlandia o rutas pelágicas (10,12). Donde los gansos y cisnes fueron las principales especies involucradas en la introducción HPIA H5N1 al continente, debido a que algunas poblaciones de gansos y cisnes migran entre Irlanda y América del Norte (13).

Discusión

Para lograr determinar el mecanismo de introducción del virus HPIA H5N1 euroasiático del clado 2.3.4.4b hacia América sería en base a un análisis multifactorial de tres principales variables, que a su vez presentan elementos claves que participan en la diseminación del virus. Las variables que confluyeron en la posible introducción del virus a Norte American,

serían: a) elementos relacionados con el virus para su aparición en aves silvestres, b) elementos relacionados con el impacto de actividades antropogénicas, y finalmente, c) elementos relacionados en el hospedador.
Partiendo con los elementos relacionados con el virus, hay que recordar que la presencia de reordenamientos de los segmentos genómicos de los virus de LPAI es común en las aves silvestres, ocasionando la aparición de nuevos vIA (8). Dichos reordenamientos genómicos se han encontrado en virus de HPAI H5 donde se determinó que varios de sus genes internos tienen su origen en los virus de LPAI H9N2; si nos enfocamos al gen de HA cuenta con su origen de los virus H3N2, H6N6 y H3N8 (subtipos comunes en aves acuáticas) (8,14). Al sumergirnos en estas constelaciones de reagrupamiento genómico, se determinó que los genes internos del subtipo de HPAI H5N1 2.3.4.4b, parte de la conjunción de H3N8, H1N1 y HPAI H5N8 (15). Dicho intercambio de componentes genéticos va relacionado con los mecanismos de adaptación al huésped, ya que al coincidir ciertas proteínas virales con el hospedador en turno empezarán las mutaciones claves para su propagación con otras especies, y al presentar elementos que se comparten con poblaciones de aves silvestres, solo es necesario que intervengan sus contrapartes domestico-salvajes para originarse un salto a la especie. Esta característica que presenta el virus ha ocasionado el surgimiento de diversos clados que conforme fueron modificándose brindaron nuevas características de adaptación en sus hospederos, por ejemplo, el clado 2.3 causó infecciones en aves con cierto contagio humano en toda Asia entre 2003 y 2008, el clado 2.2 fomento de diseminación de H5N1 desde el oeste de China hasta Egipto, el clado viral 2.3.4.4 surgió en Asia en 2013 donde el virus H5N8 mejoro la capacidad de infectar a las aves acuáticas silvestres (infección asintomática y altas tasas de excreción para ciertas especies), y finalmente, el clado 2.3.4.4b que apareció en 2020 asociado con H5N8, que durante su circulación se reagrupo con otros vIA y generando una amplia variedad de subtipos siendo el H5N1 el más importante debido al aumento de brotes en Eurasia y África, así como participar en la segunda propagación transcontinental (10,15); donde la primera incursión de los virus HPAI H5 en América fue por el virus H5N8 clado 2.3.4.4 que se desplazó desde Asia hacia el continente por medio de la ruta migratoria del Pacifico, extendiéndose posteriormente a la ruta migratoria Central y de Mississippi.

Para el análisis de la segunda variable enfocada en el impacto de las actividades antropogénicas, se abordarán dos variantes de esta variable, en primer lugar, el impacto de las actividades humanas en la dinámica ecológica de las especies, y la segunda, relacionada con el efecto del cambio climático en las conductas migratorias de las aves. Dentro de los efectos que han desecando las actividades humanas en la dispersión de los vIA, se tiene cambios en el desarrollo demográfico de las poblaciones (7), por ejemplo, se apreció un aumento de las poblaciones de aves acuáticas, especialmente de los gansos a finales del siglo XX, por el incremento de tierra agrícola; este evento también se observa en las gaviotas donde la pesca que ha generado cambios en el ecosistema marino ocasionando la extirpación local o regional de las poblaciones modificando sus alimentos hacia fuentes antropogénicas (7). En relación con el punto anterior, se tiene el cambio de uso de suelo, donde por ejemplo en California se ha registrado una reducción del 90% de sus humedales, dicho cambio ocasiona mayor conglomeración de especies en las áreas disponibles, así como mayor divergencia y proximidad entre las poblaciones de aves silvestres (9) favoreciendo una diseminación más factible, así como, mayores reordenamientos genómicos. También se tiene el comercio y movilización tanto de aves domésticas como silvestres, en donde la importación y dificultad para el muestreo total de las poblaciones de aves que ingresen a una nueva región podría acarrar consigo la introducción del agente causal; tal como sucedió con un embarque de aves del sudeste asiático hacia Reino Unido, Bélgica y Taiwán (13). Y finalmente, el cambio climático que parte desde incremento de las temperaturas en zonas cercanas a los polos, aumento en precipitaciones en algunas zonas o sequías en otras, traen consigo cambios en los patrones de migración y de anidación en las aves acuáticas, un ejemplo para este punto, se tiene el caso de las bajas temperaturas durante el invierno de 2005-2006 que dio como resultado mayor abundancia de aves acuáticas en zonas de reproducción en Finlandia.
Para concluir con el análisis epidemiológico, están los elementos relacionados con el hospedador el cual va enfocado con los patrones migratorios de las aves, enfocándonos en América del Norte existen 4 rutas migratorias que de este a oste, serían las siguientes, la ruta migratoria del Atlántico, de Mississippi, Central y del Pacífico (12,16). En la descripción de la introducción del virus HPAI H5N1, se detallarán las tres factibles rutas que pudieron ocasionar el primer y subsecuentes brotes de HPAI H5N1 en América. La primera ruta para brote reportado en diciembre de 2021 en una granja en St. John's, ciudad ubicada en la península de Avalon de la isla de Terranova en la costa atlántica de Canadá, sería a través de Islandia por donde migran anualmente casi dos millones de aves, debido a que en dicha región presentan su temporada de

reproducción (cisnes, cercetas, gansos, gaviotas y patos), y dado que múltiples especies hacen escala en Islandia antes de migrar a otras regiones como Groenlandia y/o el Alto Ártico canadiense, es factible que el virus se haya propagado de Europa del Norte a Islandia durante primavera y transmitido durante la migración en otoño En la segunda ruta, las aves (aves playeras, y gansos) que migran desde el noroeste de Europa hasta el Alto Ártico canadiense y/o el noroeste de Groenlandia, en este punto pudieron seguir un recorrido por la Bahía de Baffin, teniendo contacto con aves marinas del Ártico durante su migración en otoño antes de aparecer en Terranova; o migra hacia el sur a lo largo de la costa atlántica canadiense. Y para la tercera ruta, es directamente a través del Océano Atlántico, donde se lleva a cabo una transmisión pelágica (12). Con el análisis epidemiológico multifactorial se puede determinar que las aves silvestres presentaron un rol clave en la dispersión del virus H5N1 desde Europa hacia América, donde no solo la interacción multifacética de distintas aves en puntos de congregación favorece el reordenamiento genético si no también la transmisión del virus, como es el canso de los gansos, una especie clave debido a que al actuar como portadores hacia los patos domésticos, así como de infectar a sus contrapartes salvajes y a una amplia de aves terrestres, debido a su participación en las rutas migratorias del Atlántico, a pesar de que aun resta estudiar más a fondo la relación y participación de estas rutas, se puede concluir el papel de estas especies en la diseminación y adaptación de los virus.

Referencias

1. Skelton, R. M., & Huber, V. C. (2022). Comparing Influenza Virus Biology for Understanding Influenza D Virus. Viruses, 14(5), 1036.
2. Swayne DE. Diseases of Poultry, 14th Edition.
3. Spickler A.R. Influenza. marzo de 2022; Disponible en: https://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/pdfs/influenza.pdf
4. Xu Y. y Wojtczak D. (2022). Dice into machine learning algorithms for Influenza virus host prediction with hemagglutinin sequences. Biosystems. 220: 104740.
5. Bevins, S. N., Shriner, S. A., Cumbee, J. C., Dilione, K. E., Douglass, K. E., Ellis, J. W.Killan, M.L., Torchetti, M.K. y Lenoch, J. B. (2022). Intercontinental Movement of Highly Pathogenic Avian Influenza A(H5N1) Clade 2.3.4.4 Virus to the United States, 2021. Emerging Infectious Diseases, 28(5), 1006-1011. https://doi.org/10.3201/eid2805.220318.
6. Bodewes, R., & Kuiken, T. (2018). Changing role of wild birds in the epidemiology of avian influenza A viruses. In Advances in virus research (Vol. 100, pp. 279-307). Academic Press.
7. Hill, N.J., Bishop, M.A., Trovão N.S., Ineson K.M., Schaefer A.L., Puryear W.B., Zhou K., Foss A.D., Clark D.E., MacKenzie K.G, Gass Jr, J.D, Borkenhagen L.K., y Hall J.S. (2022) Ecological divergence of wild birds drives avian influenza spillover and global spread. PLoS Pathog 18(5): e1010062. https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1010062.
8. Verhagen, J. H., Fouchier, R. A. M., & Lewis, N. (2021). Highly Pathogenic Avian Influenza Viruses at the Wild–Domestic Bird Interface in Europe: Future Directions for Research and Surveillance. Viruses, 13(2), 212. MDPI AG. Retrieved from http://dx.doi.org/10.3390/v13020212.
9. Vandegrift, Kurt J.; Sokolow, Susanne H.; Daszak, Peter; Kilpatrick, A. Marm (2010). Ecology of avian influenza viruses in a changing world. Annals of the New York Academy of Sciences, 1195(1), 113–128. doi:10.1111/j.1749-6632.2010.05451.x.
10. Harvey, J. A., Mullinax, J. M., Runge, M. C., & Prosser, D. J. (2023). The changing dynamics of highly pathogenic avian influenza H5N1: Next steps for management & science in North America. Biological Conservation, 110041.
11. Waller, E.K., Crimmins, T.M., Walker, J.J., Posthumus, E.E. y Weltzin, J.F (2018) Correction: Differential changes in the onset of spring across US National Wildlife Refuges and North American migratory bird flyways. PLOS ONE 13(11): e0208348. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208348.
12. Caliendo, V., Lewis, N.S., Pohlmann, A., Baillie, S.R., Banyard, A.C., Beer, M., Brown, I.H., Fouchier, R.A.M., Hansen, R.D.E., Lameris T.K., Lang A.S., Laurendeau S., Lung, O., Robertson, G., van der Jeugd, H., Alkie, T.N., Thorup, K., vanTroor, M.L., Waldenström,J., Yason, C., Kuiken, T., Berhane, Y. (2022). Transatlantic spread of highly pathogenic avian influenza H5N1 by wild birds from Europe to North America in 2021. Scientific Reports , 12 (1), 11729.
13. Kilpatrick, A. M., Chmura, A. A., Gibbons, D. W., Fleischer, R. C., Marra, P. P., & Daszak, P. (2006). Predicting the global spread of H5N1 avian influenza. Proceedings of the National Academy of Sciences, 103(51), 19368-19373.
14. Cui, Y., Li, Y., Li, M., Zhao, L., Wang, D., Tian, J., Bai, X., Ci, Y., Wu, S., Wang, F., Chen, X., Ma, S., Qu, Z., Yang, C., Liu, L., Shi, J., Guan, Y., Zeng, X., Tian, G., Cui, P., Deng, G., Jiang, Y., Chen, P., Liu, J., Wang, X., Bao, H., Jiang, L., Suzuki, Y., Li, C., Li, Y. y Chen, H. (2020). Evolution and extensive reassortment of H5 influenza viruses isolated from wild birds in China over the past decade. Emerging microbes & infections, 9(1), 1793-1803.
15. Shi, J., Zeng, X., Cui, P., Yan, C., & Chen, H. (2023). Alarming situation of emerging H5 and H7 avian influenza and effective control strategies. Emerging Microbes & Infections, 12(1), 2155072.
16. Fourment, M., Darling, A. E., y Holmes, E. C. (2017). The impact of migratory flyways on the spread of avian influenza virus in North America. BMC evolutionary biology, 17, 1-12.

EFECTO DEL POLVO DE AJO MORADO ESPAÑOL (*Allium sativum*) EN POLLOS DE ENGORDA EN CONDICIONES EXPERIMENTALES

Shalaiko C Carlin[1]*, Cecilia Rosario[2], Iván Juárez[3], María E Juárez [1], Sheila Peña[4], J. Roberto Suárez-Monedero[5] y Dinorah Vargas[1]
[1]Departamento de Nutrición Animal, Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, CDMX. [2]Departamento de Medicina y Zootecnia de Aves. FMVZ-UNAM. [3]Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública, FMVZ-UNAM. [4]Departamento de Fisiología y Farmacología, FMVZ – UNAM. [5]Dir. Téc. ZOOALLIUM España.
*shalaiko@hotmail.com

Resumen
El aumento de la población humana representa la necesidad de una alta demanda en la producción de proteína animal. En la industria ganadera, los medicamentos antimicrobianos como promotores del crecimiento son un método para mejorar la producción, pero una mala práctica reconocida, limitada o prohibida, ya que se relaciona con la resistencia a los antimicrobianos con un conocido efecto negativo en la salud, por lo que se continúan los esfuerzos para identificar alternativas como las de origen natural para aumentar el rendimiento animal sin riesgos. El ajo (Allium sativum), está documentado con efectos positivos en la salud humana, por lo que ha sido propuesto como ingrediente para mejorar la producción ganadera, ciertamente existen diferentes productos con una fuente heterogénea de ajo y por lo tanto ofrecen resultados diversos. El objetivo de este estudio en condiciones experimentales, con 80 pollos de engorda, machos y hembras, seguimiento por separado, fue determinar si el ajo morado de Las Pedroñeras, España (producto estandarizado), mejora el peso corporal y los indicadores productivos. Los tratamientos se formaron de acuerdo a la proporción de ajo agregado al alimento: 0%, 0.1%, 0.2%, 0.3%. Cada pollo fue registrado y monitoreado individualmente durante 40 días. La mayor ganancia de peso fue para los machos ($p < 0,05$) en comparación con el grupo de control, hubo un resultado favorable pero un tanto menor para las hembras también. La mayor diferencia entre las respuestas de machos y hembras al uso de ajo se confirmó al final del estudio ($p < 0,05$), los controles sin diferencia significativa por sexo. El ajo también mejoró la homogeneidad (% CV) de las aves. El presente trabajo apoya el uso de un aditivo natural estandarizado a base de polvo de ajo entero, como una alternativa viable para la promoción del crecimiento de pollos de engorda.
Palabras Clave: aves, comerciales, carne, pienso, promoción, crecimiento.

Abstract
The increase in the human population represents a high demand for farm business because of the need for more protein from animal origin. In the livestock industry, antimicrobial drugs as growth promoters are one method to improve production, but a recognized, limited, or prohibited malpractice as it is associated with antimicrobial resistance with a known negative health effect. There are efforts to identify alternatives such as those of natural origin to increase animal performance without risks. Garlic (Allium sativum) is documented with positive effects on human health, which is why it has been proposed as an ingredient to improve livestock production, indeed there are different products with a heterogeneous source of garlic and therefore productive results are found heterogeneous on animals. This study under experimental conditions, with 80 broiler chickens, males, and females, followed separately, was to determine if purple garlic from Las Pedroñeras, Spain (standardized product), improves body weight and productive indicators. The treatments were formed according to the proportion of garlic added to the feed: 0%, 0.1%, 0.2%, and 0.3%. Each chick was individually registered and monitored for 40 days. The greatest weight gain was for males ($p < 0.05$) compared to the control group, there was a favorable but somewhat lesser result for females. The greatest difference between the responses of males from females to the use of garlic was registered ($p < 0.05$), the controls without significant difference by sex. Garlic also improved the homogeneity (% CV) of the birds. The present work supports the use of a standardized natural additive based on whole garlic powder, as a viable alternative for growth promotion in broilers.
Key Words: fowl, commercial, meat, feedstuff, amaryllidaceae, allioideae.

Introducción

Actualmente la industria pecuaria a nivel global enfrenta el desafío de lograr mayor producción ante la creciente demanda de proteína animal, una presión acompañada por el ritmo de aumento poblacional: 9.7 millones de personas en el mundo para el año 2050 [1]. El reto se observa mayor debido a que las herramientas que en algún momento fueron comunes y aceptadas para mejorar los indicadores productivos, al presente, son cuestionables, inclusive rechazadas o prohibidas, tal es el caso de los antibióticos (antimicrobianos) usados como promotores del crecimiento [2], [3], [4], práctica que está siendo prohibida, y cada vez con mayor rigor, por diferentes instituciones de gobierno (SADER – México, FDA – EUA, EMA – UE), alentando a su abandono y advirtiendo una acción legal más exigente para la industria de la producción animal a través de la trazabilidad, con la finalidad de que se evite y disuada de una praxis de tratamiento inadecuada [5] [6], [7], [8]. Es pertinente destacar que el menor uso de antibióticos promotores en la industria pecuaria se espera que aminore el riesgo para la salud pública por el tema conocido de los microorganismos multiresistentes, donde se estima que para el año 2050 las infecciones por éste tipo de gérmenes será la principal causa de muerte en el hombre, siendo esto mismo parte del desafío para la industria animal mundial [3], [9], [10].

La industria pecuaria sin antibióticos promotores pudiera significar una disminución en su capacidad productiva de entre el 1% y el 10% [11], por lo que desde hace algunos años se están probando distintas alternativas entre las que podemos mencionar: probióticos, prebióticos, simbióticos, alimentos funcionales, nutracéuticos y fitoquímicos, basándose en ciertos beneficios documentados para la salud de las personas y los animales [12], [13], [14], [15], [16].

En este sentido, una alternativa para la producción avícola, es el ajo (allium sativum), ya sea utilizado en su totalidad o una parcialidad de sustancias seleccionadas y extraídas de éste con resultados alentadores, por ejemplo, disminuir colesterol sanguíneo y la deposición de grasa, inhibición de ciertos microorganismos, o su capacidad antioxidante por la presencia de otros elementos naturales funcionales, requiriendo de más estudios con la finalidad de que sea un ingrediente de confianza y con posibilidades reproducibles sobre indicadores productivos, esto último debido a la diversidad conocida de fuentes de materia prima (hay varios tipos de ajos) que hacen pensar una posible heterogeneidad de resultados. ([17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25].

El ajo es muy conocido en el arte culinario, asimismo en la medicina alternativa o tradicional aplicada al ser humano por sus efectos fisiológicos, antimicrobianos, antifúngicos, antivirales, antiparasitarios, energizantes, hepatoprotectores, inmunoestimulantes, entre otros que ya han sido documentados ([26], [27], [28], [29], [30].

En el presente trabajo, se utilizó una fuente autóctona de ajo morado español ecotipo de Las Pedroñeras, España (www.igpajomorado.es), como alternativa en la alimentación de pollo de engorda, macho y hembra, esperando la mejora de indicadores productivos relacionados al crecimiento. Dicha fuente de ajo es un cultivo constante, utilizado para el consumo humano, diversificado por proceso, del de uso culinario. El producto destinado para animales (https://www.zooallium.es/nosotros) se elabora desde hace algunos años bajo los estándares de producción de la comunidad europea [31], [32].

Materiales y Métodos

Animales

Se utilizaron 80 pollos de engorda de la estirpe Cobb Vantres 500, clínicamente sanos (50% hembras y 50% machos) recibidos al día 1 de edad, con un peso promedio corporal de 39.5 ± 0.84 g [PC]), se mantuvieron en jaulas verticales en batería, dentro de la unidad experimental de aislamiento número 2 del Departamento de Medicina y Zootecnia de Aves, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Cada ave fue numerada de manera individual a partir del día 2 de vida. El estudio fue aprobado por el Comité Institucional de Investigación, Cuidado y Uso de Animales Experimentales (CICUAL) de la Institución, y de acuerdo con el Reglamento Oficial Mexicano [33].

Criterios de eliminación: pollos que presentaron patologías (anatómicas o infecciosas), comportamientos atípicos (ejemplos: agrede a otros individuos, aislamiento, letargia o apatía, entre otras), lesiones que mermen su desarrollo, problemas que evidenciaran retrasos en el crecimiento. La eutanasia de las aves (cuando fue necesario) lo realizó personal experto del área de patología y necropsias del Departamento de Medicina y Zootecnia de Aves (FMVZ-UNAM) mediante dislocación cervical.

Instalaciones
Durante 40 días de crecimiento, los pollos se mantuvieron en cumplimiento con las regulaciones para el cuidado y uso de animales en la producción avícola (Manual de Manejo del Pollo de Engorda, cobb-vantress.com) y respetando la normatividad mexicana sobre el bienestar animal [33], [34], y al Manual de Buenas prácticas pecuarias en unidades de producción de pollo de engorda [35]. Los pollitos se distribuyeron aleatoriamente en 4 tratamientos, dentro de jaulas de metal; criadoras tipo batería (alto 180cm x largo 125cm x ancho 75cm), con comederos metálicos de servido manual y bebederos de plástico independientes, con capacidad suficiente para proveer una disposición a libre acceso durante todo el estudio. La criadora estuvo dotada de piso de reja y charola de acero que separa las excretas del resto de los niveles, lo que permitió su limpieza diaria. Cada jaula y piso (nivel) en la batería proveyó de la superficie necesaria de espacio (m^2) indicada en la guía para la estirpe respecto de la edad y peso. Durante el período del ensayo se reguló la temperatura de la unidad experimental siguiendo lo recomendado para la edad progresiva de las aves y se contó con el manejo de cambio de aire automático. La humedad relativa, osciló entre 59% y 68%.

No se requirió programa de vacunación debido a que los animales se mantuvieron aislados. Tampoco hubo necesidad de ninguna aplicación terapéutica o farmacológica extra ni en lo individual ni en lo colectivo. El programa de bioseguridad incluyó: el acceso únicamente al personal autorizado, baño del personal previo contacto con los animales, uso de ropa exclusiva a la unidad experimental, sin contacto con otras aves, limpieza constante de la unidad con uso de jabones desinfectantes y tapete sanitario con solución a base de cuaternarios de amonio.

Preparación de la dieta:
Para cubrir las necesidades nutrimentales de la especie, se utilizaron dos tipos de dietas o fases de alimentación: 1) iniciación, y 2) finalización, ambas a libre acceso y cumpliendo los requerimientos de acuerdo a las recomendado en la estirpe (Suplemento Informativo sobre rendimiento y nutrición de pollos de engorde cobb-vantres.com, [36]) formuladas a base de maíz – soya, minerales y una premezcla con aminoácidos, vitaminas, fitasa y demás elementos requeridos, sin antibióticos y sin anticoccidiales. La dieta se formuló y se preparó el alimento por el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola, en Tláhuac, Ciudad de México (CEIEPAv, FMVZ – UNAM).

Considerando lo anterior, la fórmula nutrimental fue idéntica para todos los tratamientos (ver Cuadro 1) y solamente se diferenció por la inclusión del ajo polvo (ZOOALLIUM® [Z], producto estandarizado al 65% (base 100) de ajo morado de Las Pedroñeras, España, a dosis de 0% (CONTROL [C 0%]), Z 0.1%, Z 0.2% y Z 0.3%, dietas suministradas ad libitum durante todo el estudio (en la preparación del alimento, la cantidad de ajo polvo añadida se restó a la cantidad de maíz). El agua potable fue ad libitum para todos los tratamientos.

Se buscó, bajo el presente modelo experimental de crianza de pollos en total aislamiento, estudiar el efecto de la suplementación del ajo morado (Z) en el alimento a través de la evaluación del peso vivo corporal individual de macho y hembra. Debido al consumo grupal y con ello las pocas réplicas para esta variable y consecuentemente la conversión alimenticia, para estos indicadores se procedió únicamente a obtener los promedios aritméticos finales.

Cuadro 1. Fórmula nutrimental base de las dietas.		
Ingrediente	Iniciación % de adición	Finalización % de adición
Maíz amarillo	61.737	62.100
Soya 48%	32.844	30.627
Aceite de soya	1.779	3.338
Calcio 40%	1.613	1.627
Fosfato 12/17	0.823	0.702
Sal	0.321	0.327
Secuestrante Micotoxinas	0.100	0.100
Vitaminas	0.300	0.300
Metionina 99%	0.269	0.224
Lisina HCL	0.161	0.047
L-treonina	0.046	-------
Fitasa	0.008	0.008
Pigmento	-------	0.600
ANÁLISIS CALCULADO		
EM (MC/kg)	3.100	3.200
Proteína total	21.00	20.00
Fósforo no fítico	0.43	0.40
Calcio	0.87	0.85
Lisina digestible	1.15	1.00
Metionina digestible	0.57	0.51
Met+Cis digestible	0.87	0.80
Triptófano digestible	0.22	0.20
Treonina digestible	0.77	0.69
Ácido linoléico	2.19	3.01
Sodio	0.18	0.18

Diseño experimental
La asignación de los individuos a los diferentes tratamientos se realizó de manera aleatoria desde el día 1 de edad, conformando 3 repeticiones (grupo machos, grupo hembras, grupo mixto) para cada tratamiento: Control (C) y las diferentes dosis de ajo (Z).

AVEM
Avi especialistas de México

Las 3 repeticiones de cada tratamiento que correspondieron a los diferentes alimentos, se consideraron para obtener el promedio de consumo individual y determinar la conversión alimenticia de hembras y machos. El número de repeticiones para el caso del consumo no fue considerado como suficiente para realizar un ejercicio estadístico.

Con lo anterior, los grupos fueron conformados como sigue:
C 0% (7 hembras // 7 machos // 3 hembras + 3 machos)
Z 0.1% (7 hembras // 7 machos // 3 hembras + 3 machos)
Z 0.2% (7 hembras // 7 machos // 3 hembras + 3 machos)
Z 0.3% (7 hembras // 7 machos // 3 hembras + 3 machos)

La identificación individual permitió que la unidad experimental para el peso vivo corporal fuese cada pollo (n = 80), registrando el peso al día 2 de edad, cada 7 días de edad, y hasta el día 40 de edad (el corte al día 40 sucedió por la premura ocasionada por las medidas de contingencia implementadas en la FMVZ-UNAM por la pandemia COVID19).

Variables productivas que se midieron:
Para el peso (corporal) individual de los animales se consideró como el inicio del seguimiento el día 2 de edad y cada 7 días, hasta el día 40 de edad (fin del estudio), con los resultados se obtuvieron promedios de la ganancia de peso semanal y el coeficiente de variación de cada tratamiento. La ganancia diaria de peso para hembra y para macho se calculó de manera convencional: (Peso final – Peso inicial) / 40 días.

El seguimiento al consumo del alimento por tratamiento se realizó en la forma siguiente: La cantidad de alimento servido a diario se calculó con base a la edad del pollo + 2 días (consumos indicados en el Suplemento Informativo sobre rendimiento y nutrición de pollos de engorde cobb-vantres.com). Al día siguiente el alimento sobrante en comedero se pesaba, ésta cantidad se restó al peso del alimento originalmente servido y se obtuvo el consumo del día. El volumen de alimento sobrante formó parte de la cantidad servida para el día siguiente, y así sucesivamente hasta el final del estudio.

Los consumos de alimento fueron registrados por tratamiento, diferenciando machos de hembras, y con lo cual se obtuvo un promedio de consumo individual para cada sexo y el respectivo tratamiento: Conversión alimenticia = $\frac{\text{Consumo total promedio individual}}{\text{Ganancia de peso promedio individual}}$

Análisis Estadístico
El cálculo del tamaño de muestra se realizó por medio del programa JMP® 10 (SAS Institute Inc. 2012), y se utilizaron las referencias encontradas para la variable de peso corporal en pollo de engorda alimentado con ajo.

Con el programa antes referido, se evaluó previamente la normalidad de la variable y la homogeneidad de las variaciones entre los grupos para el análisis de resultados. Asimismo, el análisis estadístico a través de un ANOVA, fijando una significancia del 0.05.

Para encontrar las diferencias entre los pesos corporales de los diferentes tratamientos se practicó un análisis de Tukey. Para el caso de las posibles diferencias entre sexos se realizó una prueba t de Student.

El modelo lineal correspondiente al diseño propuesto fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\,\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1, \dots, a\text{: dosis de Z} \\ j = 1, \dots, b\text{: sexo de las aves} \\ k = 1, \dots, r = \text{repetición} \end{cases}$$

Dónde:
Y_{ijk} = Variable de respuesta
μ = Promedio general
α_i = Efecto de la dosis de Z
β_j = Efecto del sexo
$(\alpha\,\beta)_{ij}$ = Interacción dosis de Z y sexo
ε_{ijk} = Error asociado a cada resultado ~N_{ID} (0, σ2)

Resultados
Los resultados del presente trabajo se resumen en diferentes cuadros que expresan las diferencias aritméticas y las que además fueron significativas para ciertos días de pesaje.

Las limitaciones ocasionadas por COVID-19, no permitieron otros seguimientos productivos en rastro para el procesamiento sistemático de las aves quedando la oportunidad futura de otros estudios.

Al término del estudio y debido a las limitaciones por la pandemia y con ello el cierre de instalaciones en la FMVZ-UNAM, los animales por su crianza sin antibióticos y sin otros químicos, fue posible donarlos para diferentes familias del área rural circunvecina a la Ciudad de México, que aceptaron a los animales vivos para su posterior consumo.

Cuadro 2. Peso corporal del pollo por sexo, por día de pesaje.

TRATAMIENTOS							
H (n = 40)	C 0%	Z 0.1%	Z 0.2%	Z 0.3%	SEM	SE	*P
2 d	54.96	58.19	57.04	57.77	0.77	1.55	-
7 d	139.45	144.72	151.01	153.65	2.68	5.26	0.239
14 d	361.5	369.6	378	369.8	6.82	14.07	-
21 d	719	778	784	771	16.9	34.1	-
28d	1279.9	1309.9	1311.6	1295	22.66	46.98	-
35d	1893.3	1924.1	1937.3	1890.9	30.73	63.63	-
40d	2476.4	2506.1	2495.7	2461.3	33.97	70.49	-
M (n= 40)	C 0%	Z 0.1%	Z 0.2%	Z 0.3%	SEM	SE	P
2 d	55.57	55.54	54.43	53.38	0.72	1.47	-
7 d	141.23	141.38	142.34	139.31	2.97	6.17	-
14 d	367.4	343	385.7	349.1	7.46	14.51	0.1711
21 d	800.5 ^{AB}	703.9 ^{B}	835.2 ^{A}	769.6 ^{AB}	14.84	26.37	0.0091
28d	1332.5 ^{AB}	1223.6 ^{B}	1400.2 ^{A}	1335.1 ^{AB}	22.12	40.91	0.0347
35d	1972.1	1868.2	2050.2	1988.3	30.64	59.95	0.209
40d	2331.2 ^{AB}	2393.2 ^{B}	2756.4 ^{A}	2761.5 ^{A}	43.09	74.53	0.0037

H = Hembra, M = Macho. ^{A,B,C,} Niveles que no comparten la misma letra difieren. C 0% = Control sin ajo. Z = % de dosis de ajo. d = día de edad y pesaje. *P = Se citan solamente valores significativos ($P < 0.05$) y de manera ilustrativa aquellos < 0.3.

AVEM
Aviespecialistas de México

Cuadro 3. Comparación de peso corporal entre hembras vs machos sin ajo o con ajo en la dieta.

C 0%						**Z 0.1%**					
n = 20	H	M	SEM	SE	*P	n = 20	H	M	SEM	SE	*P
2 d	54.96	54.43	0.88	1.28	-	2 d	58.19	55.57	1.06	1.49	0.2302
7 d	139.45	141.23	2.65	3.84	-	7 d	144.72	141.38	3.32	4.8	-
14 d	361.5	367.4	7.75	11.21	-	14 d	369.6	343	9.89	13.68	0.186
21 d	719	800.5	25.67	34.74	0.1145	21 d	778.8	703.9	18.31	23.5	0.0369
28d	1279.9	1332.5	29.84	42.47	-	28d	1309.9	1223.6	24.78	33.01	0.081
35d	1893.3	1972.1	43.84	62.33	-	35d	1924.1	1868.2	33.26	47.42	
40d	2476.4	2661.2	59.53	80.83	0.1234	40d	2506.1	2393.2	40.1	55.14	0.1649
Z 0.2%						Z 0.3%					
n = 20	H	M	SEM	SE	*P	n = 20	H	M	SEM	SE	*P
2 d	57.04	55.54	1.07	1.54	-	2 d	57.77	53.38	1.27	1.7	0.085
7 d	151.01	142.34	4.9	6.97	-	7 d	153.65	139.31	4.91	6.73	0.1494
14 d	378	385.7	9.25	13.38	-	14 d	369.8	349.1	12.64	18.04	-
21 d	784.2	835.2	18.17	24.99	0.1663	21 d	771	769.6	25.12	36.51	-
28d	1311.6	1400.2	29.4	40.09	0.1355	28d	1295	1335.1	39.57	57.14	-
35d	1937.3	2050.2	39.36	54.01	0.1567	35d	1890.9	1988.3	55.48	78.96	-
40d	2495.7	2756.4	52.9	63.41	0.0094	40d	2461.3	2761.5	68.67	86.33	0.0243

***CON AJO (Z 0.1% + Z 0.2% + Z 0.3%)**					
n = 60	H	M	SEM	SE	*P
2 d	57.66	54.83	0.65	0.89	0.0287
7 d	149.79	141.01	2.53	3.51	0.0828
14 d	372.46	359.26	6.25	8.83	0.2949
21 d	778	769.56	12.35	17.59	-
28d	1305.5	1319.63	18.69	26.62	-
35d	1917.43	1968.9	25.34	35.84	-
40d	2487.7	2637.03	32.98	44.95	0.0222

C 0% = Control sin ajo.
Z = % de dosis de ajo.
H = Hembra, M = Macho
*Se consideraron todos los resultados de los grupos alimentados con ajo.
d = día de edad y pesaje.
*P = Se citan solamente valores significativos (P < 0.05) y de manera ilustrativa aquellos < 0.3.

Cuadro 4. Promedios finales de indicadores de interés productivo por tratamiento y sexo.

H (n = 40)	**BW g**	**Consumo g**	**CA**	**GDP**	**[1]Ganancia total g 40d**
C 0%	2476.4	3524.26	1.42	61.91	2421.44
Z 0.1%	2506.1	3718.85	1.48	62.65	2447.91
Z 0.2%	2495.7	3563.57	1.43	62.39	2438.66
Z 0.3%	2461.3	3913.13	1.59	61.53	2403.53
Tablas COBB	2586	4138	1.6	64.65	SEM = 33.97 SE = 70.48 P = NS
M (n= 40)	**BW g**	**Consumo g**	**CA**	**GDP**	**[1]Ganancia total g 40d**
C 0%	2331.2	3563.15	1.53	58.28	2606.77 [AB]
Z 0.1%	2393.2	3697.46	1.54	59.83	2337.73 [B]
Z 0.2%	2756.4	3767.57	1.37	68.91	2700.86 [A]
Z 0.3%	2761.5	3679.52	1.33	69.04	2708.12 [A]
Tablas COBB	2930	4559	1.56	73.25	SEM = 43.09 SE = 74.03 P = 0.0037

A,B,C Niveles que no comparten la misma letra difieren. NS = No significativo. [1]Diferencia de: BW 40d - BW 2d. Tablas COBB: datos del Suplemento Informativo sobre rendimiento y nutrición de pollos de engorde cobb-vantres.com.

Cuadro 5. Coeficientes de variación (%CV) de los pesos corporales de los tratamientos por sexo.

(n = 80)	2d	7d	14d	21d	28d	35d	40d
C 0% Garlic (H)	7.90%	7.80%	7.70%	19.10%	10.60%	10.40%	9.60%
C 0% Garlic (M)	7.00%	9.40%	11.30%	9.00%	10.00%	10.00%	10.20%
Z 0.1% Garlic (H)	7.50%	10.70%	10.20%	7.20%	7.40%	6.70%	5.20%
Z 0.1% Garlic (M)	9.00%	10.50%	14.10%	12.70%	9.10%	9.00%	8.80%
Z 0.2% Garlic (H)	10.60%	11.10%	10.30%	9.40%	8.90%	8.60%	9.40%
Z 0.2% Garlic (M)	6.10%	18.50%	11.80%	10.00%	9.70%	8.60%	5.70%
Z 0.3% Garlic (H)	8.10%	14.10%	17.60%	17.90%	16.70%	14.90%	10.70%
Z 0.3% Garlic (M)	11.20%	15.00%	13.70%	11.30%	10.10%	10.70%	10.20%

C 0% = Control sin ajo. Z = % de dosis de ajo. H = Hembra, M = Macho. d = día de edad y pesaje.

Discusión

El efecto general y favorable que se apreció a través de la variable del peso corporal para los grupos con ajo (Z) dependió de la dosis. En el caso de las hembras, la diferencia a favor solamente fue aritmética sin alcanzar significancia, y de forma no esperada los beneficios fueron mayores para las dosis de Z 0.1% y Z 0.2%, no se encontró comentario o publicación previa en la búsqueda bibliográfica en idioma inglés o español para datos o resultados específicos respecto de pollitas de engorda alimentadas con ajo. En el caso de los machos el grupo Z 0.1% aparentó una posible ausencia de efecto, siendo un tanto más semejante a C 0%, en cambio la diferencia sí fue significativa a favor de Z 0.2% y Z 0.3% a 21 días (P=0.0091), 28 días (P=0.0347) y 40 días (P=0.0037) (ver Cuadro 2), lo cual es semejante a lo publicado por Javandel et al (2008), quien solamente utilizó pollos mixtos (macho/hembra sin especificar la proporción), por lo que resaltamos la respuesta diferente para con las hembras en el presente trabajo.

La observación distinta del efecto del ajo entre machos y hembras se fortaleció cuando se compararon hembras contra machos de cada tratamiento y dosis de ajo (ver cuadro 3), de este particular tipo de comparación para pollos y pollas de engorda alimentadas con ajo practicada para este estudio tampoco se encontró referencia previa en la búsqueda bibliográfica. En la evaluación se esperaba que el sexo macho tuviera un mayor peso en comparación a la hembra, tal como se puede consultar para la estirpe (Suplemento Informativo sobre rendimiento y nutrición de pollos de engorde cobb-vantres.com) notando que en el caso de C 0% dicha diferencia no fue suficiente para alcanzar la significancia. En el caso de la dosis de Z 0.1% sorprende que la hembra al día 21 fue más pesada que el macho (P=0.0369) y que aritméticamente haya terminado con más peso al día 40, con lo que posiblemente dosis bajas (< Z 0.2%) pudieran ser mejores para éste sexo. En cambio, para las dosis Z 0.2% (día 40, P=0.0094) y Z 0.3% (día 40 P=0.0243) la diferencia fue significativa a favor del macho, con lo que estas dosis mayores de ajo pudieran ser las sugeridas para éste sexo. Las dosis utilizadas en el presente trabajo se aproximan a la dosis intermedia de 0.25% que indican Javandel et al (2008) en su trabajo con pollos ROSS mixtos en piso (proporción hembra:macho desconocida), Oladele et al (2012) con pollos de engorda Arbor acres, sin indicar o distinguir el sexo utilizado, y Sangilimadan et al (2019), que tampoco indica el sexo de los pollos (estirpe de engorda; NandanamBroiler-2), los tres autores reportaron ganancias de peso mejores con 0.25% de ajo, sin embargo se observa que al haber utilizado sexos mixtos en la engorda, la hembra podría haber influenciado la ausencia de significancia de algunos de sus resultados en comparación con el presente trabajo donde la dosis mayor Z 0.3% ocasionó un menor efecto en el peso de las pollitas de engorda.

En el tema de las dosis encontradas en literatura consultada, fue notorio que el autor Karangiya et al (2016) utilizó una dosis mucho mayor a los anteriores autores y a la usada en el presente trabajo. El referido autor proveyó de 1% de ajo en las dietas para la engorda de pollos Cobb (no indica el sexo), encontrando diferencia significativa en comparación al grupo

control sin ajo, a lo cual también es de notarse que su fuente de materia prima fue ajo crudo proveniente de un mercado local (probablemente con las variedades que encontró disponibles) y en su proceder lo secó al sol y posteriormente lo molió, entendiendo que dicho preceder le justificó a usar esa dosis alta y efectora. Su trabajo es semejante a la publicación de Mulugeta et al (2019) quién también utiliza ajo crudo de un mercado local, secado al sol, y probado en pollos de engorda Cobb no sexados. Las dosis altas de éstos dos autores contrastan con los resultados productivos de los autores del párrafo anterior, los cuales reportan que las altas dosis tienen un efecto menor sin significancia en comparación a los pollos control, ésta diferencia entre publicaciones y autores puede deberse a su fuente de ajo tal como se ha descrito.

El ajo utilizado en el presente trabajo es un producto comercial polvo estandarizado de ajo morado, originario de Las Pedroñeras, España, con lo cual pudiera explicar la mayor relación de los presentes resultados con los de Javandel et al (2008), Oladele et al (2012) y Sangilimadan et al (2019), y dosis cercanas al 0.2%. Resaltando además la necesidad para la industria pecuaria de contar con fuentes estandarizadas de ajo como ingrediente alternativo con fines de uso en la producción animal, y en este caso para el pollo de engorda.

En éste trabajo, la comparación del peso corporal de machos vs hembras de todos los grupos con ajo en forma conjunta (ver cuadro 3), se aprecia que los machos iniciaron significativamente con menos peso corporal (día 2 P = 0.0287), y pese a ello a los 40 días superan el peso de las hembras en forma significativa (P = 0.0222), lo que fortalece aún más el presente hallazgo de una respuesta distinta a las dosis de ajo para hembras y machos, lo cual podría ser una pauta para futuros trabajos.

En cuanto a los indicadores productivos en gramos de peso corporal, consumo de alimento, GDP y CA (ver cuadro 4), fueron aceptables al compararlos con los valores objetivo indicados en las tablas para la estirpe (Suplemento Informativo sobre rendimiento y nutrición de pollos de engorde cobb-vantres.com). Es notorio que las mejores conversiones las presentaron los machos Z 0.3% (1.33) y Z 0.2% (1.37) lo cual es alentador para futuros estudios en casetas de producción. Para el caso de la ganancia de gramos de peso corporal, promedio individual por grupo, las hembras Z 0.1% (2447.91) y Z 0.2% (2438.66) obtuvieron mejores valores pero los datos no fueron suficientes para establecer significancia, en cambio en el caso de los machos se refuerza lo observado en el peso corporal y la ganancia significativamente mejor (P = 0.0037) para Z 0.3% (2708.12) y Z 0.2% (2700.86), Z 0.1% fue el tratamiento con menor ganancia (2337.73) y por debajo de C 0% (2606.77) por lo que podría considerarse una dosis sin efecto.

Es común que los indicadores productivos se acompañen de medidas de dispersión central, siendo una de las más comunes en la industria avícola el coeficiente de variación (%CV) de la parvada con porcentajes recomendables que deben ser menores a 10% (Guía de Manejo del Pollo de Engorde, cobb-vantress.com), lo cual representa su homogeneidad como grupo. Del presente trabajo (ver cuadro 5) al final del experimento (día 40) destacó la hembra a dosis de Z 0.1% con mejor homogeneidad (5.20%), y en machos la dosis de Z 0.2% fue la mejor (5.7%), no se encontró referencia publicada al respecto para el ajo y este indicador productivo.

AVEM
Avieespecialistas de México

De lo anterior, surge el siguiente cuestionamiento, si la respuesta productiva observada diferente para machos o hembras de aves de engorda, pudiera suceder en forma semejante en otras especies productivas del orden de los mamíferos como es el caso de los cerdos en producción, situación interesante para futuras investigaciones con ajo como un elemento alternativo y de interés para promover la producción pecuaria.

Con los resultados obtenidos, se puede concluir para el presente estudio la distinta respuesta al ajo relacionada al sexo del pollo de engorda y a la dosis, esto debiera ser considerado para su aplicación en producción de campo.

Referencias

[1] ONU, Naciones Unidas. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Naciones Unidas, 2022. En línea: https://www.un.org/es/global-issues/population. [Último acceso: 15 marzo 2023].
[2] Laxminarayan R. The State of the World's Antibiotics in 2018: A Keynote Lecture. Pringle E. Center for Disease Dynamics, Economics and Policy (CDDEP). Washington DC. July 03, 2018.

[3] O'Neill J. Tackling drug-resistant infections globally: final report and recommendations. The review on antimicrobial resistance. May 2016.
[4] Frost I, Craig J, Joshi J, Faure K, Laxminarayan R. Access Barriers to Antibiotics. Center for Disease Dynamics, Economics & Policy (CDDEP), Washington, DC. 2019.
[5] DOF. Diario Oficial de la Federación. 2012. ACUERDO por el que se modifica el diverso por el que se establece la clasificación y prescripción de los productos farmacéuticos veterinarios por el nivel de riesgo de sus ingredientes activos. México. 5 de marzo.
[6] DOF. 2018. ACUERDO por el que se declara la obligatoriedad de la Estrategia Nacional de Acción contra la Resistencia a los Antimicrobianos. Consejo de Salubridad General. 5 de junio.
[7] EMA (European Medicines Agency). European Surveillance of Veterinary Antimicrobial Consumption, 2018. 'Sales of veterinary antimicrobial agents in 31 European countries in 2017. Trends from 2010 to 2017 Ninth ESVAC report).
[8] FDA (Food & Drug Administration). 2018. US, Center for veterinary medicine. Summary Report on Antimicrobials sold or distributed for use in FoodProducing Animals. December 2019. Disponible en: https://www.fda.gov/media/133411/download
[9] Nosanchuk J, Lin J., Hunter R, Aminov R. Low-dose antibiotics: current status and outlook for the future. Frontiers in Microbiology. 2014.5. 1-2.
[10] Founou LL, Founou RC and Essack SY (2016) Antibiotic Resistance in the Food Chain: A Developing Country-Perspective. Front. Microbiol. 7:1881. doi: 10.3389/fmicb.2016.01881.
[11] Errecalde JO. Uso de antimicrobianos en animales de consumo incidencia del desarrollo de resistencias en la salud pública. FAO. Producción y sanidad animal. Roma 2004. ISBN 92-5-305150-7.
[12] Huyghebaert, G., Ducatelle, R., & Immerseel, F. V. (2011). An update on alternatives to antimicrobial growth promoters for broilers. The Veterinary Journal, 187(2), 182–188. doi: 10.1016/j.tvjl.2010.03.003
[13] Salim, H. M., Kang, H. K., Akter, N., Kim, D. W., Kim, J. H., Kim, M. J., … Kim, W. K. (2013). Supplementation of direct-fed microbials as an alternative to antibiotic on growth performance, immune response, cecal microbial population, and ileal morphology of broiler chickens. Poultry Science, 92(8), 2084–2090. doi:10.3382/ps.2012-02947
[14] Dhama K, Tiwari R, Khan RU, Chakraborty S, Gopi M, Karthik K, Saminathan M, Desingu PA and Sunkara LT, 2014. Growth Promoters and Novel Feed Additives Improving Poultry Production and Health, Bioactive Principles and Beneficial Applications: The Trends and Advances-A Review. International Journal of Pharmacology, 10: 129-159. DOI: 10.3923/ijp.2014.129.159
[15] Landy, N., Ghalamkari, G., & Toghyani, M. (2011). Performance, carcass characteristics, and immunity in broiler chickens fed dietary neem (Azadirachta indica) as alternative for an antibiotic growth promoter. Livestock Science, 142(1-3), 305–309. doi: 10.1016/j.livsci.2011.08.017
[16] Kırkpınar, F., Ünlü, H. B., & Özdemir, G. (2011). Effects of oregano and garlic essential oils on performance, carcase, organ and blood characteristics and intestinal microflora of broilers. Livestock Science, 137(1-3), 219–225. doi: 10.1016/j.livsci.2010.11.010
[17] Javandel F., Navidshad B., Seifdavati J., Pourrahimi G.H. and Baniyaghoub S., 2008. The Favorite Dosage of Garlic Meal as a Feed Additive in Broiler Chickens Ratios. Pakistan Journal of Biological Sciences, 11: 1746-1749. DOI: 10.3923/pjbs.2008.1746.1749
[18] Kim YJ, Jin SK and Yang HS. Effect of dietary garlic bulb and husk on the physicochemical properties of chicken meat. 2009 Poultry Science 88 :398–405 doi: 10.3382/ps.2008-00179
[19] Jimoh AA, Olorede BR, Abubakar A, Fabiyi JP, Ibitoye EB, Suleiman N and Garba S. Lipids profile and Haematological Indices of Broiler Chickens fed Garlic (Allium sativum) - Supplemented Diets. J Vet Adv 2012, 2(10): 474-480
[20] Oladele, O. A.; Emikpe, B. O. & Bakare, H. Effects of dietary garlic (Allium sativum Linn.) supplementation on body weight and gut morphometry of commercial broilers. Int. J. Morphol., 30(1):238-240, 2012
[21] Robyn J, Rasschaert G, Hermans D, Pasmans F, and Heyndrickx M. Is allicin able to reduce Campylobacter jejuni colonization in broilers when added to drinking water? 2013 Poultry Science 92 :1408–1418 http://dx.doi.org/ 10.3382/ps.2012-02863
[22] Karangiya VK, Savsani HH, Patil SS, Garg DD, Murthy KS, Ribadiya NK, Vekariya SJ (2016) Effect of dietary supplementation of garlic, ginger and their combination on feed intake, growth performance and economics in commercial broilers, Veterinary World, 9(3): 245-250. doi: 10.14202/vetworld.2016.245-250
[23] ZeryehunT, Asrat M, Amha N, Urge M. Effects of supplementation of different levels of garlic (allium sativum) on selected blood profile and immunity of white leghorn chicken. Biotechnology in Animal Husbandry 33 (3), p 333-348, 2017. https://doi.org/10.2298/BAH1703333Z
[24] Mulugeta M, Worku Z, Seid A and Debela L. Effect of garlic powder (Allium sativum) on performance of broiler chicken. Livestock Research for Rural Development 31 (4) 2019.
[25] Sangilimadan K, Churchil1 RR, Premavalli K. and Omprakas AV. Effect of Garlic (Allium sativum) on Production Performances and Carcass Traits of Nandanam Broiler-2. Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci (2019) 8(4): 2531-2538.
[26] Bozin, B., Mimica-Dukic, N., Samojlik, I., Goran, A., & Igic, R. (2008). Phenolics as antioxidants in garlic (Allium sativum L., Alliaceae). Food Chemistry, 111(4), 925–929. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.04.071
[27] Benkeblia, N. (2004). Antimicrobial activity of essential oil extracts of various onions (Allium cepa) and garlic (Allium sativum). LWT - Food Science and Technology, 37(2), 263–268. doi: 10.1016/j.lwt.2003.09.001
[28] Harris, JC, Cottrell, SL, Plummer, S, D. Lloyd. Antimicrobial properties of Allium sativum (garlic). Appl Microbiol Biotechnol 57, 282–286 (2001). https://doi.org/10.1007/s002530100722
[29] Rivlin R S. Historical Perspective on the Use of Garlic, The Journal of Nutrition, Volume 131, Issue 3, March 2001, Pages 951S–954S, https://doi.org/10.1093/jn/131.3.951S
[30] Kovarovič, J., Bystrická, J., Vollmannová, A., Tóth, T., & Brindza, J. (2019). Biologically valuable substances in garlic (Allium sativum L.) – A review. Journal of Central European Agriculture, 20(1), 292–304. doi:10.5513/jcea01/20.1.2304
[31] MAPA (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación). 2020. Gobierno de España. I. G. P. Ajo Morado de Las Pedroñeras. https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-agroalimentaria/calidad-diferenciada/dop/hortalizas/IGP_ajo_morado.aspx (consultado junio-15-2020).

[32] CE. 2008. Comisión de Las Comunidades Europeas. Reglamento (CE) No. 626/2008. Por el que se inscriben determinadas denominaciones en el Registro de Denominaciones de Origen Protegidas y de Indicaciones Geográficas Protegidas [Ail de la Drôme (IGP), Všestarská cibule(DOP), Slovenská bryndza (IGP), Ajo Morado de Las Pedroñeras (IGP), Gamoneu o Gamonedo(DOP), Alheira de Vinhais (IGP), Presunto de Vinhais o Presunto Bísaro de Vinhais (IGP)] https://www.mapa.gob.es/images/es/DOUE_189_19_tcm30-211367.pdf
[33] DOF. 2001. NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. agosto 22.
[34] Gaceta Oficial CDMX (Gaceta Oficial de la Ciudad de México). 2018. Ley de Protección a los Animales de la Ciudad de México. Última reforma, mayo 4.
[35] SAGARPA (Secretaría de Agricultura Desarrollo Rural Pesca y Alimentación). 2009. SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). Manual de Buenas prácticas pecuarias en unidades de producción de pollo de engorda. 1ª edición.
[36] NRC. 1994. Nutrient Requirements of Poultry: Ninth Revised Edition. Subcommittee on Poultry Nutrition, National Research Council. ISBN: 0-309-59632-7 (http://www.nap.edu/catalog/2114.html)

AVEM
Aviespecialistas de México

COMPARACIÓN DE UN PROGRAMA DE VACUNACIÓN CONTRA GUMBORO POR VÍA ORAL Y UN PROGRAMA DE VACUNACIÓN CON COMPLEJO INMUNE EN POLLO DE ENGORDA COMERCIAL

Lilia Castellanos Novoa[1*], De Gasperín Ramiro[2], Francisco Rojo[1], Orea A [1], Ramos R [1], Franco R
[1]CEVA Salud Animal, México. [2]Avícola Carus Abella.
lilia.castellanos@ceva.com

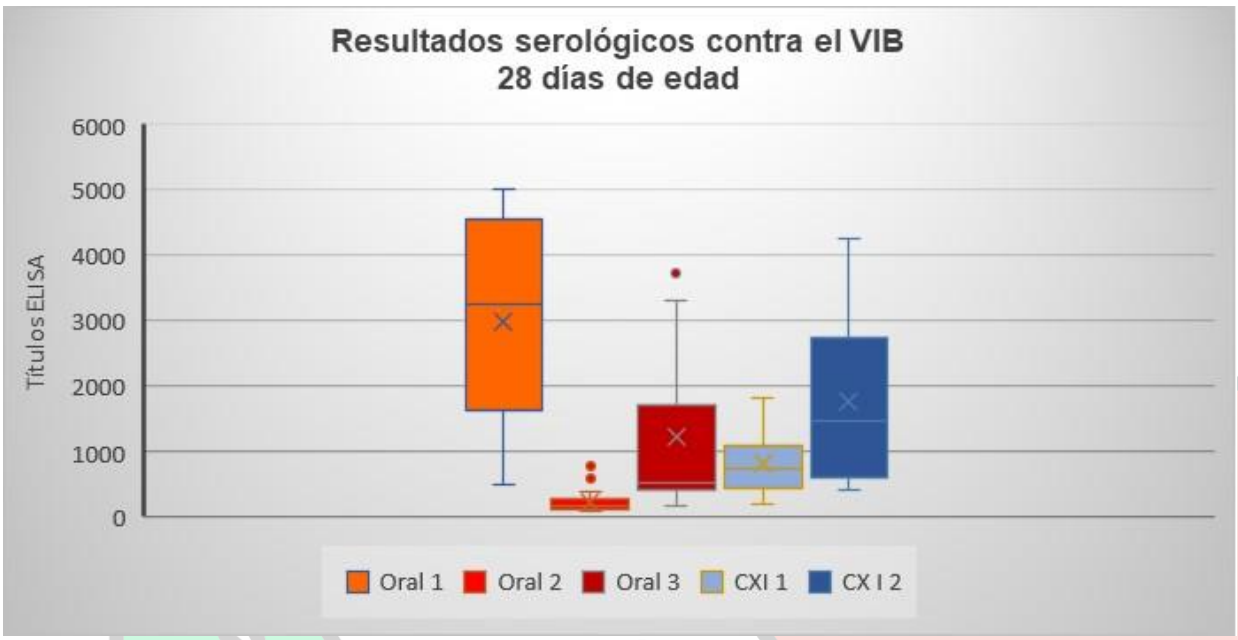
Resumen
Para proteger a las aves contra la enfermedad de Gumboro o de la Infección de la bolsa se han desarrollado una gran gama de vacunas utilizando diferentes tecnologías una de ellas es la vacuna con complejo inmune. En este estudio se evaluó la respuesta serológica y los cambios histopatológicos en aves comerciales en condiciones de campo vacunadas con una vacuna de complejo inmune administrada vía subcutánea al día de edad y se comparó contra la de aves vacunadas con vacunas vivas administradas de manera oral por agua de bebida, observándose una respuesta serológica más temprana en las aves vacunadas con la vacuna de complejo inmune y encontrándose cambios histopatológicos similares entre los dos programas de vacunación evaluados, confirmando que la vacuna de complejo inmune administrada en pollo de engorda comercial en condiciones de campo ofrece una buena protección administrada al día de edad en presencia de anticuerpos maternos.
Palabras Clave: infección de la bolsa, vacuna, anticuerpos, pollo de engorda.
Key Words: infectious of the bursal, vaccine, antibodies, broilers.

Introducción

La enfermedad de Gumboro es altamente contagiosa en aves jóvenes causada por el virus de la Infección de la Bolsa (VIB) y caracterizada por inflamación seguida de atrofia de la bolsa de Fabricio y grados variables de inmunosupresión. Para proteger a las aves, se han desarrollado una gran gama de vacunas utilizando diferentes tecnologías, siendo una de ellas las vacunas de complejo inmune (CXI). Estas vacunas consisten en una mezcla de cierta cantidad de anticuerpos específicos contra el VIB obtenidos de suero de pollos hiperinmunizados más el virus vacunal de la infección de la bolsa. Algunas ventajas de esta vacuna es que en presencia de anticuerpos maternos y que puede ser administrada in ovo o en la incubadora vía subcutánea al día de edad. Se ha demostrado la eficacia de estas vacunas en condiciones controladas otorgando protección al 100% de las aves desafiadas. [1] En la literatura se encuentra limitada la información de los resultados obtenidos en campo. En este estudio se evaluó la respuesta serológica y los cambios histopatológicos en aves comerciales en condiciones de campo inmunizadas con una vacuna de complejo inmune administrada vía subcutánea al día de edad y se comparó contra la de aves vacunadas con vacunas vivas administradas de manera oral por agua de bebida; además para evaluar si existía inmunodepresión en aves con alguno de estos tratamientos, se evaluó la respuesta serológica contra la Enfermedad de Newcastle.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó, en una granja de producción comercial con pollo de engorda comercial. Se compararon 2 parvadas que recibieron una vacuna contra Gumboro con complejo inmune contra 3 parvadas que recibieron un programa de vacunación administrada por vía oral. Las parvadas que recibieron la vacuna del complejo inmune fueron vacunadas al día de edad por vía subcutánea en incubadora, con una dosis de una vacuna comercial del virus de Gumboro cepa Winterfield 2512 con Complejo Inmune (CEVA Salud Animal) de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Las parvadas que recibieron un programa de vacunación oral contra Gumboro, fueron vacunadas a los 9 días con una vacuna cepa ST12 vía oral en agua de bebida y por la misma vía a los 19 días de edad con la cepa GM97. Se obtuvieron muestras de suero de 20 aves de cada caseta de estudio a los 3, 28, 35 y 42 días de edad y se analizaron por histopatología 5 bolsas de cada grupo a los 28, 35 y 42 días de edad. El análisis serológico se realizó por medio de la técnica de ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas (ELISA), utilizando un kit comercial IDEXX. Se compararon los resultados de la evaluación histopatológica de cada parvada, la cual se llevó acabo de acuerdo con la escala publicada por la Farmacopea Europea. Para demostrar que el VIB de la vacuna con CXI no tiene efecto inmunodepresor, se determinaron los títulos de anticuerpos contra la Enfermedad de Newcastle siguiendo la metodología de la NOM.



Resultados

Las parvadas de ambos tratamientos presentan títulos de anticuerpos maternos positivos con una alta variación (Fig.1)

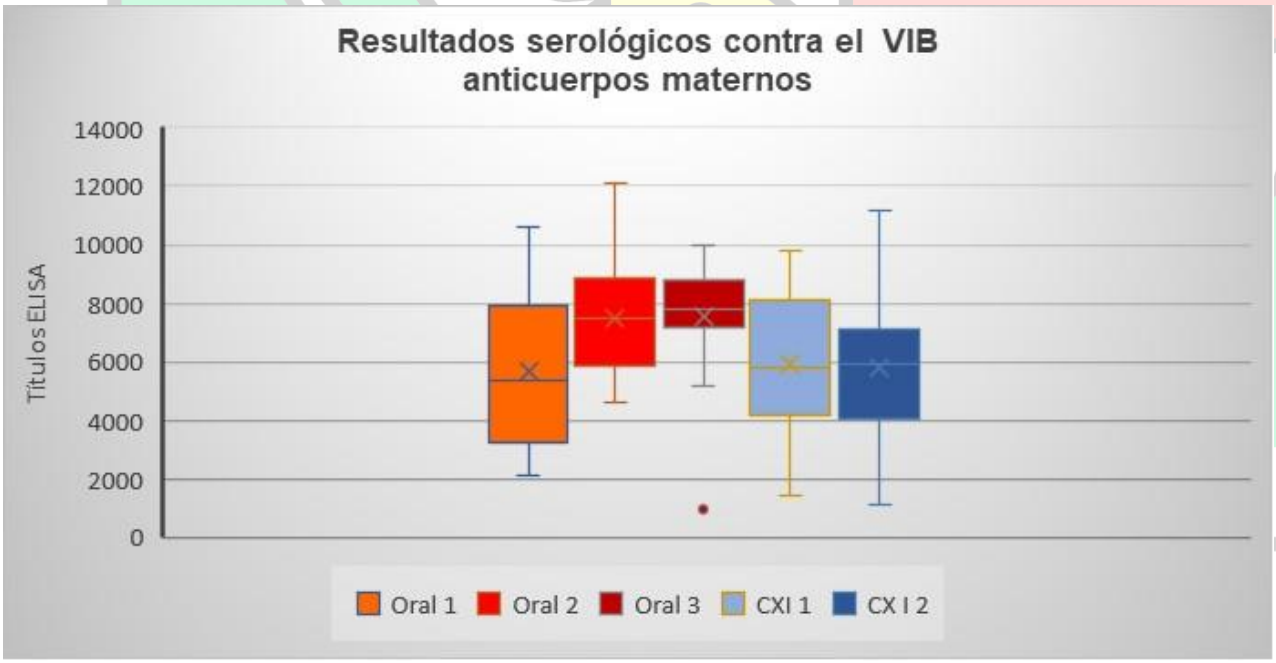


Figura 1.-Resultados serológicos de aves de 3 días de edad contra el VIB de las parvadas vacunadas con el programa oral y las parvadas inmunizadas con la vacuna de complejo inmune (CX) determinados por la técnica de ELISA.

A los 28 días de edad se observan diferencias en los títulos de las parvadas de aves vacunadas con el programa oral sugiriendo un desafío y en otra parvada no haber respuesta inmune humoral, mientras que en las parvadas de las aves vacunadas con la vacuna de VIB con CXI las medias aritméticas son menores a 1800 (Fig. 2)

Figura 2.-Resultados serológicos de aves de 28 días de edad contra el VIB, de las parvadas vacunadas con el programa oral y las parvadas inmunizadas con la vacuna de complejo inmune (CXI) determinados por la técnica de ELISA.

A los 35 días de edad los títulos serológicos de las parvadas vacunadas con el programa oral son en su mayoría negativos, mientras los títulos de las parvadas vacunadas con la vacuna de CXI son positivos con medias de títulos por arriba de 4000 (Fig.3)

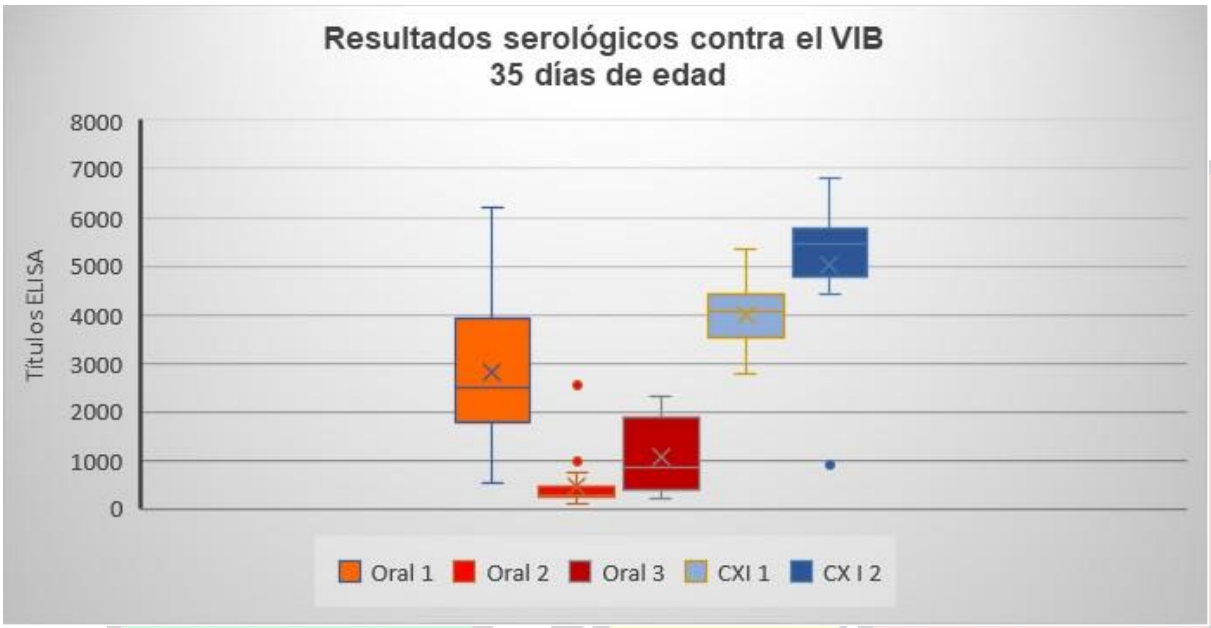


Figura 3.-Resultados serológicos de aves de 35 días de edad contra el VIB, de las parvadas vacunadas con el programa oral y las parvadas inmunizadas con la vacuna de complejo inmune (CXI) determinados por la técnica de ELISA.

A los 42 días de edad las medias de todas las parvadas se encuentran por arriba de 2600. (Fig.4)

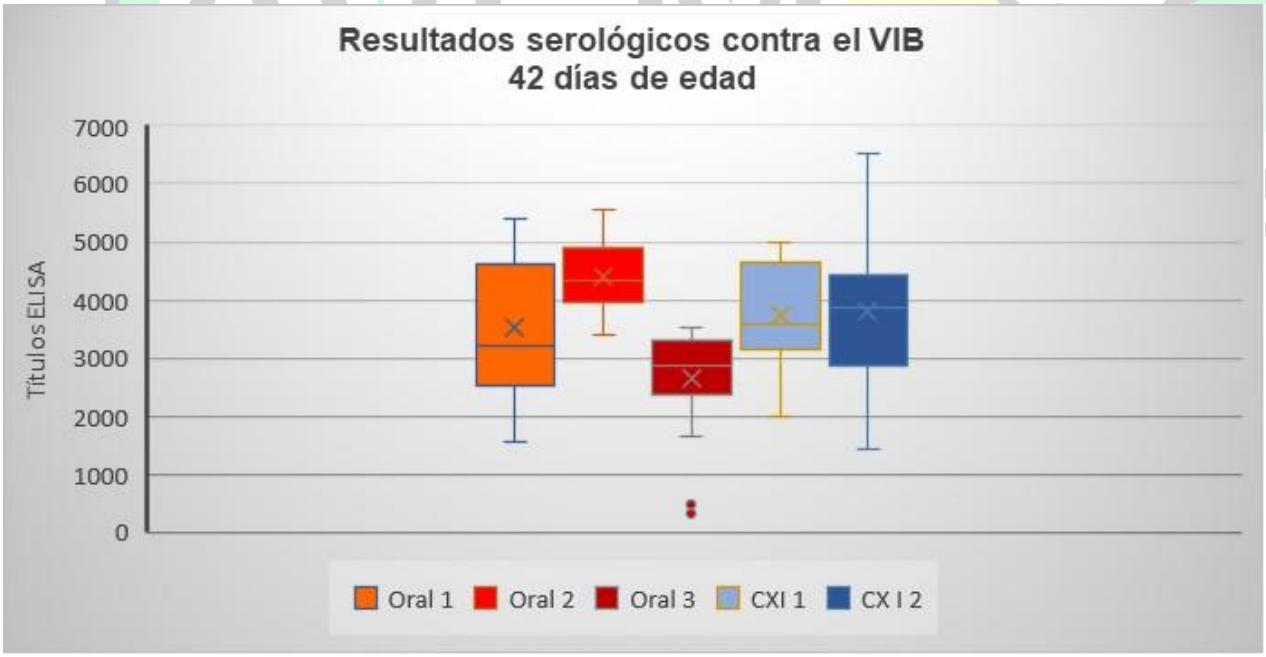


Figura 4.-Resultados serológicos de aves de 42 días de edad contra el VIB, de las parvadas vacunadas con el programa oral y las parvadas inmunizadas con la vacuna de complejo inmune (CXI) determinados por la técnica de ELISA.

Los resultados de histopatología muestran cambios similares en las parvadas vacunadas con el programa oral, así como las inmunizadas con la vacuna de CXI. Sin embargo, en una parvada inmunizada con el programa oral los resultados sugieren un desafío a los 28 días de edad, y en otra parvada con el mismo programa se observan bolsas sin cambios histopatológicos sugiriendo falta de inmunización (Cuadro 1)

	28 días	35 días	42 días
Oral 1	1.5	2.9	2.3
Oral 2	0	2.7	2.8
Oral 3	2.2	2.2	3
CXI1	2.2	2.4	2.2
CXI2	2.6	3	3.6

Cuadro 1.- Media aritmética de los grados de cambios histopatológicos de las bolsas de Fabricio de las parvadas vacunadas con el programa oral y las parvadas inmunizadas con la vacuna del complejo inmune (CXI) a los 28, 35 y 42 días de edad.

No se observó diferencias entre los títulos serológicos contra el virus de la Enfermedad de Newcastle en las muestras de las parvadas de estudio. Figs. 5, 6 y 7.

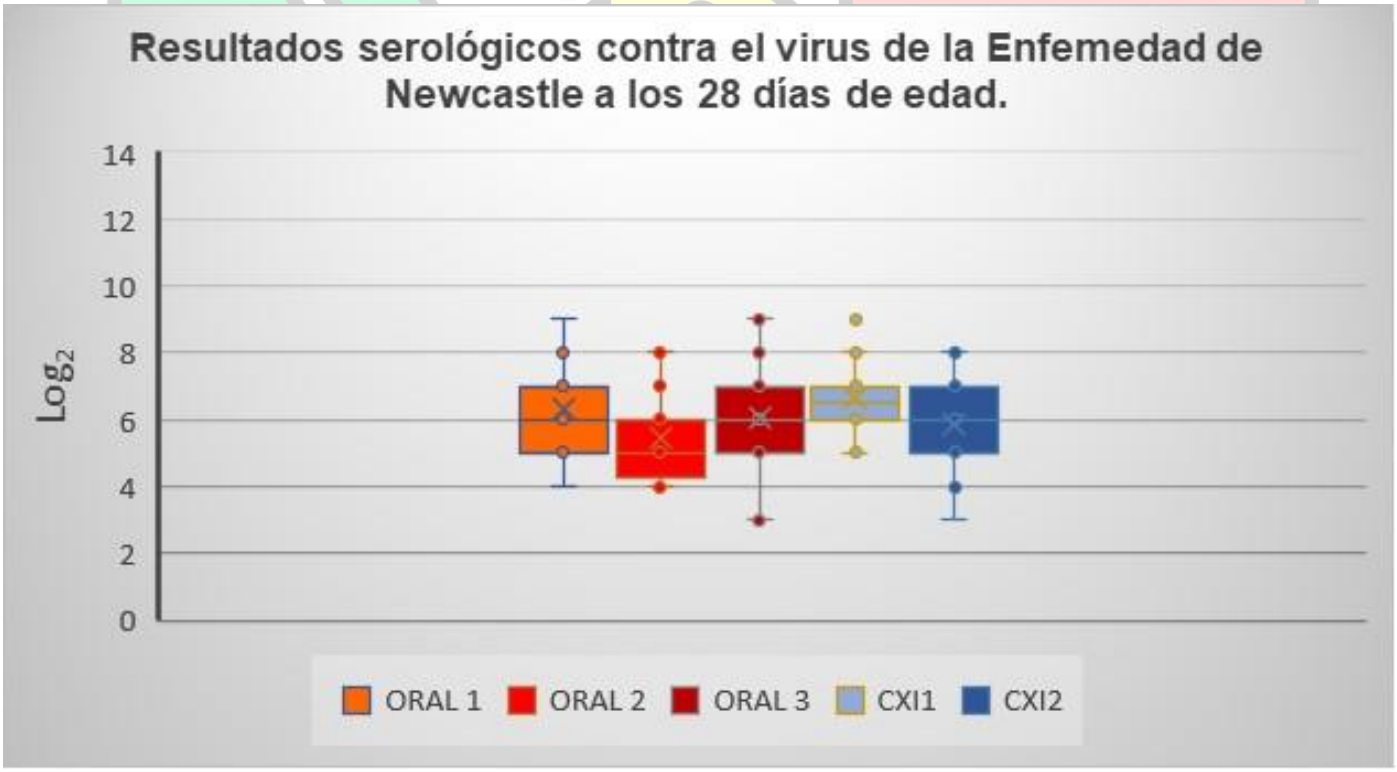


Figura 5.-Resultados serológicos de aves de 28 días de edad contra el VIB, de las parvadas vacunadas con el programa oral y las parvadas inmunizadas con la vacuna de complejo inmune (CXI) determinados por la técnica de HI.

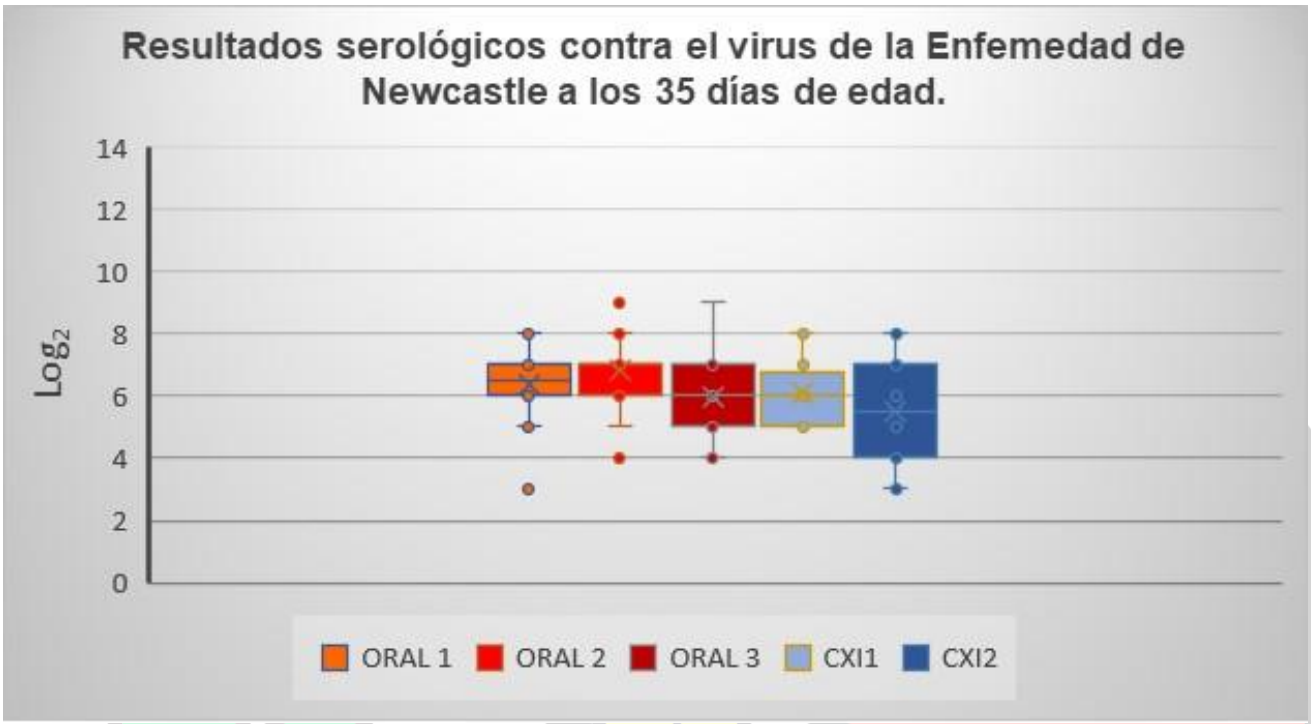


Figura 6.-Resultados serológicos de aves de 35 días de edad contra el VIB, de las parvadas vacunadas con el programa oral y las parvadas inmunizadas con la vacuna de complejo inmune (CXI) determinados por la técnica de HI.

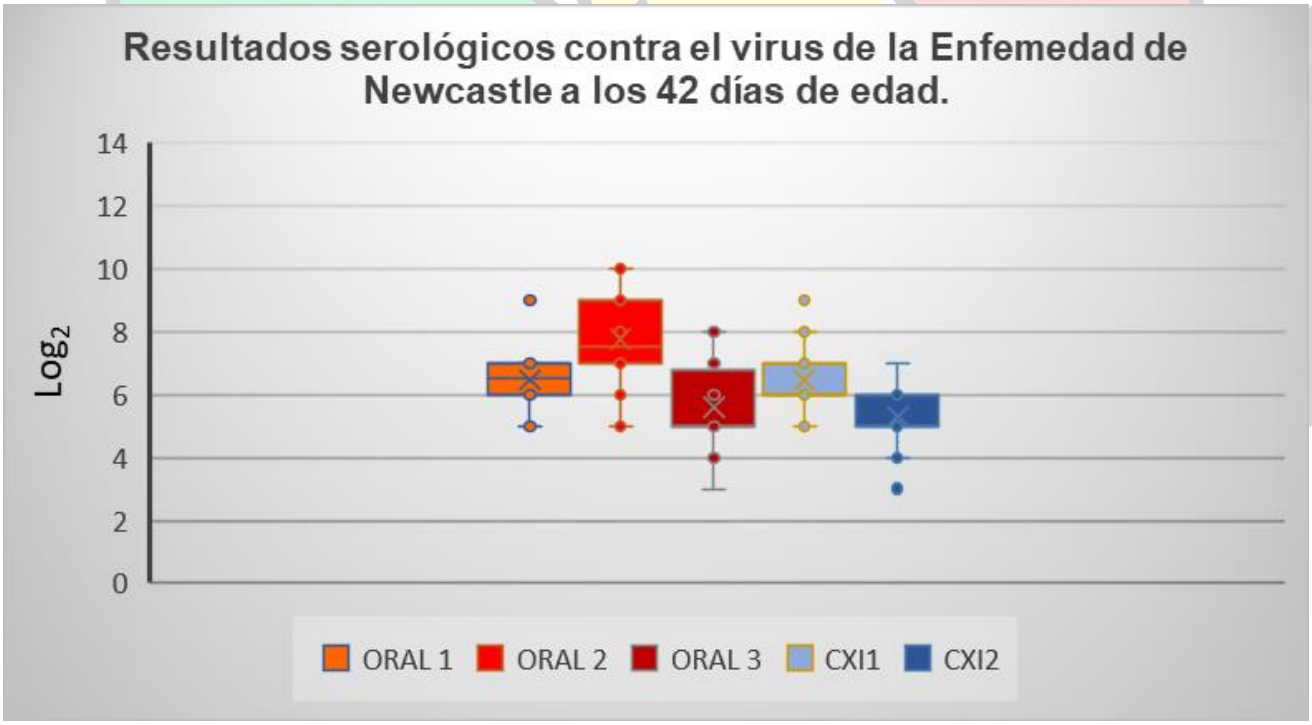


Figura 7.-Resultados serológicos de aves de 42 días de edad contra el VIB, de las parvadas vacunadas con el programa oral y las parvadas inmunizadas con la vacuna de complejo inmune (CXI) determinados por la técnica de HI.

Discusión

Se ha considerado que la presencia de anticuerpos maternos en aves jóvenes es una limitante en el control de la enfermedad [2]. En este estudio se demuestra la vacuna de complejo inmune es capaz de inmunizar a pollos comerciales con anticuerpos maternos; confirmando estos resultados lo mencionado por Müller., et. Al. 2012 [3]. De acuerdo con los resultados serológicos observados en las parvadas del estudio, la respuesta serológica producida por la vacuna de complejo inmune es mayor a los 35 y 42 días de edad; mientras que los títulos del programa de vacunación oral son menores y desuniformes. Los resultados histopatológicos muestran que los cambios observados en las parvadas que recibieron la vacuna del CXI son similares a los observados en las aves vacunadas por vía oral. Es necesario realizar más evaluaciones ya que en el estudio publicado por Jeurissen., et. al. en 1998 (Jeurissen, y otros, 1998) menciona que hay menor deplesión linfoide en las aves vacunadas con el complejo inmune. Los resultados de la serología contra la enfermedad de Newcastle sugieren que las vacunas utilizadas en este estudio no producen inmunodepresión en las aves vacunadas. En este estudio se concluye que la vacuna de CXI en pollo de engorda comercial en condiciones de campo con anticuerpos maternos genera títulos uniformes y más temprano que el calendario de vacunación oral como era esperado de acuerdo a la literatura. La vacuna CXI en pollo de engorda al día de edad generó cambios histopatológicos similares a los del programa de vacunación oral sin producir inmunodepresión.

Referencias

[1] E. E. Haddad, C. E. Whitfill, A. P. Avakian, C. A. Ricks, P. D. Andrews, J. A. Thoma y P. S. Wakenell, «Efficacy of a novel infectious bursal disease virus immune complex vaccine in broiler chickens,» *Avian Disease,* vol. 41, pp. 882-889, 1997.

[2] F. Ingrao, F. Rauw, B. Lambrecht y T. Van den Berg, «Infectious bursal disease: a complex host-pathogen interaction.,» *Dev Comp Immunol,* vol. 41, pp. 429-438, 2013.

[3] H. Müller, E. Mundt, N. Eterradossi y M. R. Islam, «Current status of vaccines against infectious bursal disease,» *Avian Pathology,* vol. 41, pp. 133-139, 2012.

[4] S. H. Jeurissen, E. M. Janse, P. R. Lehrach, E. E. Haddad, T. A. Avakian y C. E. Whitfillt, «The working mechanism of an immune complex vaccine that protects chickens against infectious bursal disease.,» *Immunology,* vol. 95, pp. 494-500, 1998.

AVEM
Aviespecialistas de México

EVALUACIÓN DE COMPATIBILIDAD Y DESEMPEÑO PRODUCTIVO EN PONEDORAS COMERCIALES INMUNIZADAS CON VACUNAS VECTORIZADAS RHVT-H7 Y RHVT-F APLICADAS SIMULTÁNEAMENTE

Ricardo Franco Iñiguez, Francisco Javier Rojo, Arturo Orea, David Dueñas, Lilia Castellanos L
CEVA Salud Animal, México
ricardo.franco@ceva.com

Resumen

Dentro de las principales enfermedades que afectan la productividad de las aves de postura, se encuentran la Enfermedad de Newcastle e Influenza Aviar de alta patogenicidad subtipo H7N3. La prevención y control de enfermedades mediante la vacunación de las aves es de suma importancia. Sin embargo, el uso de vacunas convencionales en ponedoras comerciales ha tenido algunas limitantes: la interferencia con los anticuerpos maternos, errores de aplicación, bajas de postura, mortalidad y consecuentemente una incompleta inmunización de las parvadas. Para proteger a estas aves han surgido diferentes diseños de vacunas, siendo uno de ellos las vacunas vectorizadas en vector Marek (HVT). En este estudió se evaluó la compatibilidad de dos vacunas, rHVT-F y rHVT-H7 contra la Enfermedad de Newcastle y la Influenza Aviar H7N3 respectivamente. Para ello se evaluó el prendimiento vacunal utilizando la técnica RT-qPCR a partir de muestras de pulpa de pluma y bazo, demostrando la capacidad de replicación de ambas vacunas rHVT. Posteriormente, se realizó un estudio comparativo de los datos productivos hasta 42 semanas de edad de 3 parvadas anteriores vs 3 parvadas posteriores al uso de las dos vacunas rHVT, evidenciando la mejora en los parámetros productivos.

Palabras Clave: Compatibilidad, Ponedora comercial, rHVT-F, rHVT-H7, vacuna vectorizada.

Introducción

La Enfermedad de Newcastle (ENC) altamente patógena y la Influenza Aviar de alta patogenicidad (IAAP) son enfermedades muy contagiosas y de notificación obligatoria a la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA). Ambas enfermedades afectan a las aves incluidas las de domésticas. La ENC es causada por un virus de la familia de los Paramyxovirus y se caracteriza por signos digestivos y respiratorios a menudo con trastornos nerviosos y alta mortalidad. La IAAP es causada por virus específicos que pertenece a la familia Orthomyxoviridae subtipo H5 o H7, presenta alta mortalidad y signos clínicos respiratorios, cianosis, diarrea, signos nerviosos o bien, muerte súbita sin signos evidentes. La vacunación eficaz para alcanzar inmunidad en las aves es una de las estrategias más importantes en el control de ambas enfermedades, además de las medidas de bioseguridad. Sin embargo, el uso de vacunas convencionales en ponedoras comerciales ha tenido algunas limitantes: la interferencia con los anticuerpos maternos (AM), errores de aplicación, bajas de postura, mortalidad y consecuentemente una incompleta inmunización de las parvadas. Ante esto, diversos diseños de vacunas han sido probados contra la ENC y la IAAP buscando una protección completa, eficaz y segura. Las vacunas vectorizadas en vector Marek herpesvirus del pavo (rHVT), no interfieren con AM, se aplican en incubadora por lo que disminuye los errores en la aplicación, cumplen con estrategias DIVA y ofrecen inmunidad duradera. Sin embargo, la aplicación simultánea de dos vacunas rHVT se ha cuestionado debido a posible incompatibilidad. En este estudio se inmunizaron aves de postura comercial simultáneamente con dos vacunas rHVT, una vacuna con inserto del gen F del virus de ENC, y la otra con inserto del gen de la hemaglutinina del virus de la IA H7N3. Se evaluó la compatibilidad mediante el prendimiento vacunal por la técnica de PCR, en donde se determinó la replicación del virus vacunal, rHVT-H7 o rHVT-F según sea el caso y posteriormente se evaluó la productividad midiendo el porcentaje de mortalidad y cantidad de huevo por ave alojada.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en una granja de postura comercial con una población total de 90,000 aves Hy-Line W-80 en Jalisco, México. Las aves fueron inoculadas con las vacunas rHVT+H7 y rHVT+ND el primer día de edad vía subcutánea de acuerdo con las instrucciones del fabricante (CEVA Salud Animal). A los días 21 y 35 de edad se eligieron 12 aves de manera aleatoria y se sacrificaron de manera humanitaria para realizar la toma de muestras. Se tomaron muestras de 12 aves (10 Pulpas por ave) y 12 muestras de bazo (corte medio del bazo) identificadas individualmente. Ambas muestras fueron fijadas en

tarjetas FTA y enviadas al laboratorio CEVA Phylaxia en Hungría. El prendimiento vacunal se realizó mediante el análisis molecular con la técnica de RT-qPCR específico para detección de rHVT-H7 y rHVT-F.
Vacunas: rHVT-H7 = vacuna recombinante vectorizada contra la Enfermedad de Marek y contra la IAAP H7N3 (rHVT-H7). El virus vector replicante de la vacuna es la cepa vacunal HVT (herpesvirus de pavo) recombinada con el gen de la hemaglutinina H7 del virus de la IAAP H7N3. rHVT-F = vacuna recombinante vectorizada contra la Enfermedad de Marek y contra la Enfermedad de Newcastle (rHVT-F). El virus vector replicante de la vacuna es la cepa vacunal HVT (herpesvirus de pavos) recombinada con el gen de la proteína de fusión (F) del virus de la Enfermedad de Newcastle.

Resultados

Los resultados muestran prendimiento de 83% de la vacuna rHVT-F a partir de 21 días de edad y 73% de positividad a día 35 de edad mientras que rHVT-H7 muestra 25% de positividad a 21 días y 92% a 35 días de edad (fig.1), los resultados productivos recopilados de la empresa muestran una reducción considerable en la mortalidad acumulada (fig.2), así como aumento en la productividad de las parvadas medidos en huevos por ave alojada (fig.3).

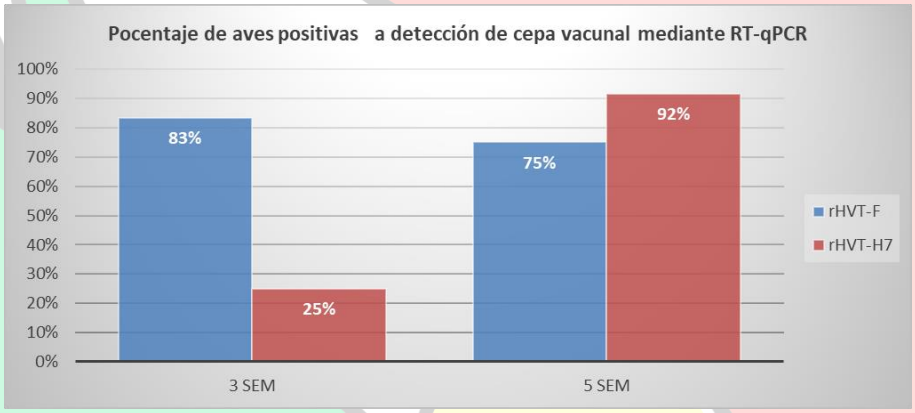


Figura 1. A tres semanas de edad la vacuna rHVT-F muestra presencia más temprana que la vacuna rHVT-H7, mientras que a semana 5 de edad ambas vacunas muestran prendimiento más uniforme.

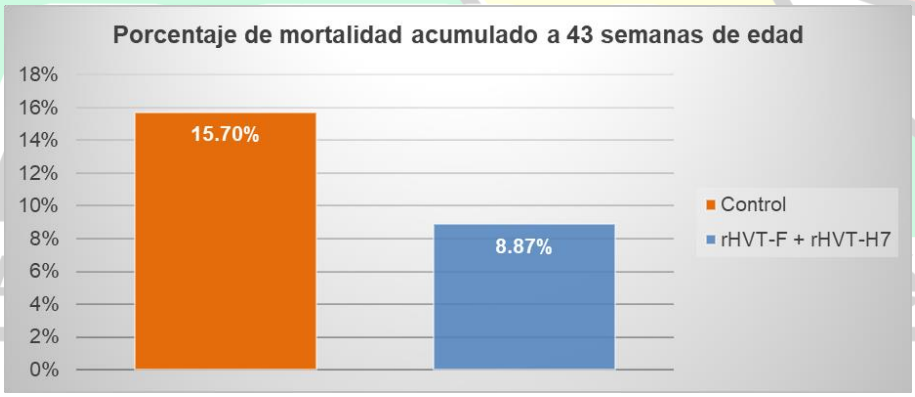


Figura 2. Se tomaron tres parvadas previas al uso del programa rHVT-H7 y rHVT-F y se promedió la mortalidad acumulada a 43 semanas de edad. En esta zona la mayoría de las parvadas son desafiadas entre 20 y 30 semanas de edad al arranque de la postura. Se muestra una disminución de 6.83% de mortalidad acumulada.

Figura 3. Se tomaron tres parvadas previas al uso del programa rHVT-H7 y rHVT-F y se promedió el huevo por ave alojada acumulado a 43 semanas de edad, en este caso se observa un aumento de 13.63 huevos por ave alojada en el grupo vacunado.

Discusión

De acuerdo con estudios anteriores, no todos los diseños de vacunas con vector HVT son compatibles [1]sin embargo, otros estudios demuestran la compatibilidad entre dos vacunas rHVT-F & rHVT-H5 [3], los resultados obtenidos en este estudio demuestran la capacidad de replicación de ambas vacunas y a su vez demuestran la mejora productiva conferido a las parvadas vacunadas con este programa. El motivo por el cual se toman tres parvadas anteriores al uso del programa es para cubrir todas las épocas del año ya sean de bajo o alto desafío cubriendo 18 meses de producción en ambos grupos. El motivo de este estudio es demostrar las nuevas tecnologías disponibles para el control de las principales enfermedades desde la planta de incubación disminuyendo los errores cometidos en la aplicación de vacunas en campo y a consecuencia de esto mejorar tanto la viabilidad de las aves como su productividad.

Referencias

[1] Dunn, J., Dimitrov, K., & Patti J. Miller, A. **Evaluation of Protective Efficacy When Combining Turkey Herpesvirus**–. American Association of Avian Pathologists. 2019; 75-83.

[2] F. Rauw, & V. Palya. **Lack of interference between rHVT-H5 and rHVT-F vaccines administrated**. Brussels Belgium: Coda Cerva Veterinary and Agrochemical Research Cente. 2021.

[3] Paniago, M., Cazaban, C., Gardin, Y., & Lozano, F. **Assessment of the compatibility between the vector rhvt-f and rhvt-h5 vaccines in spf and commercial chickens.** proceedings of the sixty-fifth western poultry disease conference. 2016; 24-27.

[4] Sesti, L., Rojo, F., & Palya, V. **Compatibility between a vector rhvt vaccine against highly pathogenic avian influenza h7n3 virus (rhvt-h7) and a vector hvt vaccine against velogenic newcastle disease virus (rHVT-F) in commercial layers**. American Association of Avian Pathologists memmories. 2021.

AVEM
Avicoespecialistas de México

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y COSTOS DE ALIMENTACIÓN EN POLLOS EN FINALIZACIÓN ALIMENTADOS CON DIFERENTES NIVELES DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*) EN LA DIETA

Johana Paola Galeano Diaz[1], C.J. Rubio[1], J.E. Sánchez Torres[1], I.A. Domínguez Vara[1], E.Morales Almaraz[1], B. Valladares Carranza[1],O.V. Vázquez Mendoza[2], V. Valdés Narváez[3]
[1]Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Universitario "El Cerrillo", Toluca, Estado de México. [2]Evonik México SA de CV, [3]Independiente Nutryse, Nezahualcóyotl, México.
edreie@yahoo.com.mx

Resumen
El objetivo fue evaluar el efecto de la inclusión del frijol (*Phaseolus vulgaris*) en la dieta para aves de pollos en la etapa de finalización sobre la respuesta productiva y costos de alimentación. Se utilizaron ciento veinte pollos con un peso inicial promedio de 1147 g, los cuales fueron divididos y asignados a una de las cuatro dietas experimentales (T1, T2, T3 y T4) que contenían diferentes niveles de inclusión de frijol (*Phaseolus vulgaris*). Las dietas cubrieron los requerimientos nutricionales, siendo dietas isoenergéticas e isoproteicas. La respuesta productiva disminuyo (p<0.05), al adicionar la harina de frijol (*Phaseolus vulgaris*), por otro lado, los costos de las dietas fueron disminuyendo (p<0.05) conforme se aumentaba la inclusión de frijol *(Phaseolus vulgaris*), 0, 3, 6 y 9 % respectivamente, sin embargo, el costo por kg de peso vivo producido incremento conforme se aumentaban los niveles de inclusión.
Palabras Clave: Frijol, carne, pollos.

Abstract
The objective was to evaluate the effect of the inclusion of beans (Phaseolus vulgaris) in the diet for broilers at the finishing stage on the productive response and feed costs. One hundred and twenty broilers with an average initial weight of 1147 g were divided and assigned to one of fourth experimental diets (T1, T2, T3 and T4) containing different levels of bean (Phaseolus vulgaris) inclusion. The diets covered the nutritional requirements, being isoenergetic and isoproteic diets. Significant differences were observed (p <0.05), decreasing the productive response to the addition of bean meal (Phaseolus vulgaris), and the costs of the diets were decreasing (p<0.05) as the inclusion of bean (Phaseolus vulgaris) increased, 0, 3, 6 and 9 % respectively, however, the cost per kg of live weight produced increased as the inclusion levels increased.
Key Words: Bean, meat, chickens.

Introducción

La nutrición es la base principal en la producción animal y ha generado importantes avances en la alimentación. La disponibilidad de insumos y costos determinan las estrategias a seguir en la alimentación que se suministra dentro de las producciones, ya que abarca alrededor del 70-80% de los costos totales en la producción, por ello la importancia de establecer estrategias de alimentación con ingredientes convencionales y no convencionales como el frijol, que logren tener mejor absorción de nutrientes para poder convertir el alimento en carne y adicionalmente con el propósito de sustituir alimentos que no afecten la producción del animal y lograr reducir los costos de producción. La avicultura a nivel nacional ha impactado fuertemente, creciendo a un ritmo cercano al 3% anual. Con el aumento de la población, es necesario incrementar la disponibilidad de carne para las personas, siendo la de pollo una de las de mayor demanda en el país (UNA, 2019). Como consecuencia del aumento del consumo de carne de pollo, las granjas se han vuelto más tecnificadas, incrementado su producción, reduciendo tiempo y costos. Por lo anterior el objetivo fue evaluar el efecto de la inclusión del frijol (*Phaseolus vulgaris*) en la dieta para aves de pollos en la etapa de finalización sobre la respuesta productiva y costos de alimentación.

Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicada en el Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Se utilizaron ciento veinte pollos con un peso inicial promedio de 1147 g, los cuales fueron divididos y asignados a una de las cuatro dietas experimentales (T1, T2, T3 y T4) que contenían diferentes niveles de inclusión de frijol (*Phaseolus vulgaris*). Las dietas

experimentales fueron las siguientes: El tratamiento 1 se elaboró con maíz (63.83%), pasta de soya (25%), salvado (6%); el tratamiento 2 se elaboró con maíz (63.33%), pasta de soya (24%), salvado (5%) y frijol (3%); El tratamiento 3 se elaboró con maíz (62.83%), pasta de soya (23%), salvado (4%), frijol (6%) y el tratamiento 4 se elaboró con maíz (62.50%), pasta de soya (23%), salvado (1.5%), frijol (9%), adicionalmente a todas las dietas se adicionaron una premezcla de vitaminas y minerales (1.07%). La fase experimental tuvo una duración de 21 días, en los cuales las aves fueron alojadas en jaulas (80 x 80 x 50 centímetros) y en cada jaula se introdujeron a tres aves con su respectivo comedero y bebedero. Se midió la respuesta productiva (consumo de alimento, ganancia de peso, conversión y eficiencia alimenticia). Los datos obtenidos fueron analizados bajo un diseño experimental completamente al azar, donde los datos recabados fueron procesados con un análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM del SAS (SAS, 2002). La comparación de medias se realizó por prueba de Tukey. Los niveles de significancia fueron $p \leq 0.05$ para cada tratamiento. Se realizó un análisis de presupuestos parciales, utilizando la metodología de Wiggins *et al.* (Wiggins S, 2001), y así determinar la viabilidad económica de las dietas evaluadas. Se estableció el costo de alimentación en la etapa de finalización como principal costo de producción de carne de pollo, incluyendo el costo de las dietas en función de la materia prima.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se presenta el comportamiento productivo en pollos de engorda alimentados con dietas que contuvieron diferentes niveles de frijol. Jabib *et a*l [4], realizo un experimento durante 49 días, en donde estudio el efecto de dos niveles de inclusión de frijol (*Vigna unguiculata*) en 10 y 20% y en dos presentaciones (crudo y cocido) sobre la ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia de pollos de engorda, donde encontraron que la ganancia de peso incremento 36 g en la inclusión del 10% de frijol cocido. Mientras que, con la inclusión de frijol al 20% incremento 56 g en la ganancia de peso en las dietas que contenían frijol cocido comparado con el frijol crudo. López *et al* [5] realizó un experimento donde evaluaron el efecto de tres niveles de inclusión de harina de frijol en la dieta, (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), variedad "Catatumbo" (5, 10 y 15 %) sobre los siguientes parámetros productivos: ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia. donde encontraron que los pollos que consumieron la con dieta con 15% de harina de frijol obtuvieron menores ganancias de peso comparados con los del grupo de 5 y 10% de inclusión de frijol. Respecto al consumo de alimento no hubo diferencia durante la primera semana, pero en la semana 2 y 3 observaron una disminución en el consumo de alimento en los pollos que consumieron la dieta que contenía 15% de frijol.

En el presente estudio la ganancia diaria de peso fue superior respecto a lo reportado por Jabib *et al* [4], debido a que se realizó en pollos durante los últimos 21 días, en la fase de finalización, Las líneas de pollos utilizados en ambos experimentos fueron diferentes lo que pudo favorecer la ganancia de peso en el presente estudio.
En la ficha técnica del pollo de engorda de línea Cobb500, menciona que la ganancia de peso del día 28 -49 es de 94 g en promedio, el consumo diario de alimento de 202 g y la conversión alimenticia de 1.6, respectivamente. Sin embargo, en comparación con los resultados obtenidos en el presente estudio se obtuvieron una ganancia de peso del T1 de 94.58 g siendo igual a la establecida en la ficha técnica. Con respecto a los tratamientos con inclusión de frijol se obtuvieron menores ganancias de peso atribuyéndolo a que el frijol contiene factores antinutricionales como lectinas, inhibidores de proteasas y taninos, que dificultan la digestión y absorción de nutrientes.
Otro factor importante en el crecimiento de los pollos de engorda es la disponibilidad de oxígeno en el ambiente, ya que favorece el funcionamiento del metabolismo celular. El presente estudio se realizó en Valle de Toluca donde la altura está a 2632 metros sobre el nivel del mar lo que limita la oxigenación en el pollo de engorda, y se relaciona con una menor conversión y eficiencia alimenticias.

En el cuadro 2 se observa los costos parciales de alimentación en pollo de engorda alimentados con dietas que incluían frijol, se observó un menor costo en las dietas experimentales que contenían frijol del 4.8, 11.2 y 13.8%, respectivamente. Sin embargo, debido a que la conversión alimenticia fue mejor en el tratamiento 1, los costos por kg de peso vivo producido fueron mayor en las dietas que contenían frijol en un 5.2 y 5.7 % en los tratamientos 3 y 4, respectivamente. Esto nos indica que al utilizar una inclusión del 9% de frijol en la alimentación para pollos de engorda, representa menor ganancia de peso y menor costo en la alimentación. Sin embargo, debido a los factores antinutricionales que contiene el frijol se aumenta el costo de kg peso vivo producido, indicando que el costo-beneficio es mayor.

Conclusión

Al adicionar harina de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en las dietas para pollos de engorda disminuyo la respuesta productiva. Los costos de las dietas fueron disminuyendo conforme se aumentaba la inclusión de frijol (Phaseolus vulgaris), 0, 3, 6 y 9 % respectivamente, sin embargo, el Costo por kg de peso vivo producido incremento conforme se aumentaban los niveles de inclusión de 0, 3, 6 y 9 % respectivamente.

REFERENCIAS

[1] UNA, «Industria,» UNA, 2019. [En línea]. Available: https://una.org.mx/industria/. [Último acceso: 30 Abril 2021].

[2] SAS, *SAS User´s Guide: Statistics. Ver 9.0. IN INSTITUTE,* USA: Cary, N.C. , 2002.

[3] T. R. R. G. R. V. O. O. P. C. A. B. E. O. P. F. R. H. A. Wiggins S, «Costos y retornos de la producción de leche en pequeña escala en la zona central de México. La lecheria como empresa.,» *Series Cuadernos de Investigación, Cuarta Época,* p. 19, 2001.

[4] B. P. y. V. A. Jabib Leones, «Evaluación del fríjol caupí (Vigna unguiculata) como ingrediente proteico en dietas para pollos de asadero,» *Revista MVZ Córdoba* , vol. 7, nº 1, pp. 162 - 167, 2002.

[5] S. R.-R. H. M. R. H. A. A.-F. A. &. U. H. Miranda-López, «Parámetros productivos y química sanguínea en pollos de engorde alimentados con tres niveles diéticos de harina de granos de fríjol (Vigna unguiculata (L.) Walp.) durante la fase de crecimiento,» *Revista Científica,* vol. 2, nº 17, pp. 150 - 160, 2007.

Cuadro 1. Comportamiento Productivo en pollos de engorda alimentados con dietas que contenían diferentes niveles de frijol (*Phaseolus vulgaris).*

	T1	T2	T3	T4	EE[1]	Valor *p*
Peso vivo inicial (g)	1147.14	1148	1143.14	1150.14	7.68	0.9769
Peso vivo final (g)	3135.3[a]	2930.14[ab]	2813.71[b]	2774.29[b]	63.64	0.0047
Consumo total de alimento (g)	3995.9	3925	3857.5	3803.5	94.23	0.5896
Consumo de alimento diario (g)	190.3	186.88	183.7	181.11	4.48	0.5896
Ganancia diaria de peso (g)	94.58 [a]	84.87[ab]	79.55[b]	77.35[b]	3.01	0.0047
Ganancia total de peso (g)	1986.5[a]	1782[sb]	1670.6[b]	1624.1[b]	63.2	0.0046
Conversión Alimenticia	2.00[b]	2.23[ab]	2.31[a]	2.37[a]	0.067	0.0107
Eficiencia Alimenticia	0.497[a]	0.454[ab]	0.433[b]	0.4243[b]	0.012	0.0065

[1]Error estándar medio, [a, b] medidas con distinta literal dentro de la hilera son diferentes (p <0.05).

Cuadro 2. Costos parciales de alimentación en pollos de engorda alimentados con dietas que contenían diferentes niveles de frijol (*Phaseolus vulgaris).*

	T1	T2	T3	T4	EE[1]	Valor *p*
Costo Kg/Alimento ($)	7.10	6.88	6.53	6.43		
Costo de alimentación diaria ($)	1.35[a]	1.28[ab]	1.20[b]	1.16[b]	0.030	0.0002
Costo total de alimentación ($)	28.37[a]	27.00[ab]	25.18[b]	24.45[b]	0.642	0.0002
Costo por kg de peso vivo producido ($)	14.36[b]	15.18[ab]	15.16[ab]	15.19[ab]	0.463	0.0076

[1]Error estándar medio, [a, b] medidas con distinta literal dentro de la hilera son diferentes (p<0.05).

SISTEMAS DE LIBERACIÓN MODIFICADA[1], DE SUPLEMENTOS DE CANELA Y CURCUMA EN POLVO PARA MEJORAR LA PRODUCCION DE HUEVO EN GALLINA EN SU SEGUNDO Y TERCER CICLOS

Hector S. Sumano Lopez, Lizbeth Y. Carrillo Gonzalez, Lilia Gutierrez Olvera*
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México
*liliao@ unam.mx

Resumen
Hay deficiencias en la capacidad de absorción de calcio y quizá otros nutrientes a partir del tubo gastrointestinal en las aves de segundo y tercer ciclo. Esto hace que se reduzca la producción de huevo tanto en porcentaje de postura como en calidad medida en términos de grosor del cascarón. La administración de cantidades adicionales de alguna fuente de calcio no soluciona integralmente el problema y menos aún si se usa la fuente menos hidrosoluble de calcio (carbonato de calcio). En este ensayo y con base en antecedentes documentados de fomento de la absorción de calcio y de la presentación farmacéutica patentada tipo FOLA (F=biodisponibilidad; O=óptima; LA=larga acción), que conlleva diseño farmacéutico, se suplementó a gallinas *Bovans White*d de segundo y tercer ciclo de postura, con carbonato de calcio en FOLAs conteniendo capsaicina, cúrcuma y canela (4 grupos) y se incluyeron grupos control suplementados solamente con carbonato de calcio de manera clásica. Todos los diseños FOLA fueron mejores en las variables de promedio de postura y grosor del cascarón con respecto a los grupos control ($P < 0.01$) y de entre los diseños, el grupo GfexC2 = carbonato de Ca en FOLA + capsaicina + cúrcuma en polvo + canela en polvo, superó en las variables dichas y en algunos días, a los otros grupos tratados con FOLAs ($P < 0.05$). Se postula este suplemento de calcio en FOLA (GfexC2) como una solución al decremento de la postura y a la pérdida de la calidad del huevo por cascarón de mala calidad.
Palabras Clave: nutracéuticos vegetales, producción de huevo, cascarón, curcuma, ajo, calcio.

Abstract
There are deficiencies in the ability to absorb calcium and perhaps other nutrients from the gastrointestinal tract in second and third-cycle birds. This causes a decline in egg production both in laying percentage and in egg quality as measured in terms of shell thickness. The administration of additional amounts of any source of calcium does not fully solve the problem, and even less so if the least water-soluble source of calcium (calcium carbonate) is supplemented. In this trial, a pharmaceutical presentation based on documented evidence of calcium absorption promotion, and the employment of the patented FOLA pellets (F=bioavailability; O=optimal; LA=long action) was utilized. Second and third laying cycle Bovans White hens were supplemented with calcium carbonate either in FOLAs containing capsaicin, turmeric, and cinnamon powder (4 groups). The corresponding control groups were set, supplemented only with calcium carbonate in a classical manner. All the FOLA designs were better in the variables of percent laying, and shell thickness with respect to the control groups ($P < 0.01$). Among the designs, the GfexC2 group = Ca carbonate in FOLA + capsaicin + turmeric powder + powdered cinnamon, surpassed the other groups treated with FOLAs in variables measured and in some days ($P < 0.05$). This calcium supplement in the form of FOLA (GfexC2) is postulated as a solution to decreased laying and loss of egg quality due to poor shell quality.
Keywords: vegetable nutraceuticals, egg production, shell, turmeric, garlic, calcium

AVEM Avicultores Especialistas de México

Introducción

México es el 4° productor mundial de huevo con más de 2.77 millones de toneladas anuales y el primer consumidor de este con un consumo anual *per cápita* de 24.7 kilos [1]. Consecuentemente, se puede asumir que la producción de huevo es una de las industrias pecuarias con mayor exigencia productiva en México y en el mundo pues se consume alrededor de 73.8 millones de toneladas de huevo/año [2] y la producción de huevo a nivel nacional corresponde aproximadamente a 28.2% de esa cifra [3]. A nivel mundial, la producción total de huevos aumentó de 61.7 millones de toneladas en 2008 a 76.7 millones de toneladas en 2018, un aumento notable del 24% en diez años y se espera que para el 2030 el aumento en producción sea superior al 25%. Con estas expectativas en la producción y considerando que la calidad debe mantenerse, es menester mejorar la producción de huevo. Un reto que no debe conllevar el uso de farmoquímicos como los promotores antibacterianos de la producción. Por añadidura, no debe haber detrimento de la salud de las aves de

[1] Tipo FOLA: Patente No.MX/a/2012/01,3222 y PCT/MX2013/000137; Universidad Nacional Autónoma de México.

postura. Las nuevas politicas internacionales en cuanto a uso de antibacterianos es cada vez más estricta y esto ha convoca a los investigadores a buscar alternativas que optimicen la producción de huevo y el enfoque más racional es llevar a las aves productoras a un estado de salud lo más cercano a lo óptimo. En este mismo sentido las producciónes libres de antibacterianos son cada vez más solicitadas lo que ha generado un mercado atractivo para el surgimiento de pequeñas granjas familiares de producción alternativa. Lamentablemente las condiciones de bioseguridad y las instalaciones en estas explotaciones distan mucho de ser idóneas [4]. De tal suerte que tanto a nivel industrial como en traspatio, se requieren estudios que evalúen alternativas herbolarias que sean inocuas y contribuyan a una salud intestinal productiva y permitan mejorar la producción sin mayor impacto medio-ambiental [5, 6].

Dentro de los tipos de producción, más del 80% de las producciones intensivas en México solo manejan un ciclo de postura en las gallinas. Esto se debe en gran parte a que se ha demostrado que la postura en un segundo ciclo puede ser marcadamente menor, incluso hasta en un 40%. Para muchas empresas más entonces, resulta más viable reemplazar a las gallinas productoras en tan solo un ciclo, acortando la vida productiva de las aves. En contraste, en las explotaciones no tecnificadas o de traspatio se llegan a manejar más de dos ciclos de postura a pesar del detrimento en la producción y la calidad del huevo. En este último punto resulta clave tener una buena calidad del cascarón, que sea resistente a la ruptura, que no esté deforme y en general que permita su manipulación. Así, el grosor de la cáscara de huevo se considera uno de los principales parámetros indirectos para la evaluación de la calidad del huevo y es entendible que se ha identificado una relación inversa significativa entre el grosor de la cáscara y el porcentaje de huevos resquebrajados [7]. Es sabido que las gallinas a partir del segundo ciclo de postura bajan la calidad del huevo por factores clave como una mala absorción intestinal de nutrientes y en particular de calcio . En publicaciones anterior se ha encontrado que los sistemas de liberación modificada diseñados ex profeso para adecuar la absorción de nutracéuticos y fármacos del tubo gastrointestinal (TGI) de las aves (FOLAs), pueden mejorar la biodisponibilidad del carbonato de calcio, una de las fuentes mas utilizadas de calcio, pero una de las menos biodisponibles. El objetivo es mantener la calidad del huevo en gallina de segundo e incluso de tercer ciclo. Por su parte, la canela o su aceite esencial, el cinamaldehido, es uno de los aditivos fitogénicos aprobados por la Administración de Drogas y Alimentos de los EE. UU. (*FDA*) para su inclusión en aves de corral. Los compuestos bioactivos de la canela tienen potentes propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas y antioxidantes con acciones de eliminación de radicales libres y fuertes efectos inhibidores sobre la producción de óxido nítrico (NO) al inhibir la actividad de NFκβ [9]. En estudios realizados con pollos de engorde, se han observado actividades antimicrobianas (antivirales, antibacterianas y antifúngicas) contra muchos microorganismos [8, 9] y fuertes actividades antioxidantes en dietas para aves suplementadas con canela y sus aceites esenciales [10, 11]. Además, el cinamaldehido tiene potentes actividades antioxidantes, hipocolesterolémicas, anticandidiásicas y analgésicas [12]. Así como esta planta, otros fito-elementos activos, ya sea de manera directa o a través de sus extractos y aceites y directamente por isoflavonas, compuestos fenólicos y otros, han sido incluido en los alimentos para aves de corral para mejorar la inmunidad, el metabolismo, la salud, el crecimiento, las características de la canal y la calidad de la carne [5]. Por ejemplo, la cúrcuma que contiene diferentes compuestos bioactivos, como la curcumina, la demetoxicurcumina, la bisdemetoxicurcumina y los tetrahidrocurcuminoides (diarilheptanoides, pertenecientes al *grupo* de los curcuminoides, fenoles naturales) [13]. En ellos se han encontrado actividades antioxidantes, antiinflamatorias, nematocidas a dosis que fluctúan de 0.5 a 10 g/kg/día [14, 15, 16].

Dados los antecedentes presentados, y que las $FOLA_S$ (F = biodisponibilidad; O = optima; LA = Larga acción) son sistemas de liberación modificada que han demostrado su capacidad para mejorar la F de varios antimicrobianos en avicultura (Gutierrez, Zermeño, Alcala, & Sumano, 2017; Carrillo, y otros, 2020), se planteó como hipótesis de trabajo en este ensayo la mejora potencial de la producción de huevo, en términos de postura y calidad del cascarón, en gallinas ligeras de segundo y tercer ciclo, utilizando preparados conteniendo fito-elementos más carbonato de calcio, en diseño tipo FOLA.

Materiales y Métodos

El presente estudio se llevó a cabo en una explotación familiar ubicada en Antonio Plaza #26, colonia Miguel Hidalgo, Texcoco, Estado de México y en el Departamento de Fisiología y Farmacología de la FMVZ, UNAM con autorización del Subcomité Institucional para el Cuidado y Uso de los Animales de Experimentación (SICUAE) de la FMVZ de la UNAM. Se

trabajó con un total de 180 gallinas de postura de segundo ciclo (>180 semanas) y 60 gallinas de tercer ciclo (>270 semanas), *Bovans White* con una pelecha de 10 días y un peso promedio de 1,570 ± 20 g. Se les alojó a razón de tres aves en cada jaula tipo California, de 40 cm de ancho, 45 cm de profundidad y 45 cm de altura (600 cm^3/gallina). Se les proporcionó agua *ad libitum* por medio de bebedores de taza (uno por cada jaula) y se estableció un programa de iluminación de 16 horas luz/8 oscuridad. Se dividieron en 6 grupos de 30 gallinas por grupo con la siguiente designación: ● GCC2 = grupo control del ciclo 2; ■ GFcC2 = grupo FOLA + capsaicina 2 ppm; ▲ GfexC2 = grupo FOLA + capsaicina + cúrcuma en polvo + canela en polvo; **o** GCC3 = grupo control del ciclo 3; ▫ GFcC3 = grupo FOLA + capsaicina 2 ppm; △GFexC3 = grupo FOLA + capsaicina + cúrcuma en polvo + canela en polvo. Para la metodología de la FOLA, véase la Patente MX/a/2012/013222.

A los grupos controles (GCC2 y GCC3) se les proporcionó una dieta balanceada conforme a los lineamientos de la estirpe (véase Cuadro 1) y a los grupos experimentales se les retiró el total de calcio fino y grueso que se añade normalmente a partir del carbonato de calcio; únicamente se mantuvo el calcio contenido en el ortofosfato de calcio. Los requerimientos de calcio se llenaron con los sistemas FOLA que contienen carbonato de calcio (véase Cuadro 2)**.** El alimento se suministró en un comedero de canaleta (13.3 cm/gallina), a los grupos experimentales GFcC2 y GFcC3 se les añadió 8 g de pellets de FOLA/gallina que contenían 4.1% de carbonato de calcio más 6 ppm de capsaicina (Sigma Aldrich, CAS No. 404-86-4) y en los grupos GFexC2 y GFexC3 se les adicionó, además de lo anterior, 1% de cúrcuma en polvo (grado alimenticio McCormick®) y 1% de canela en polvo (grado alimenticio McCormick®).

Una semana previa a las evaluaciones y durante 3 semanas a partir del inicio de la dosificación los productos a base de FOLA, se midieron las siguientes variables: grosor del cascarón (polos medio, superior e inferior) con un Vernier digital de precisión que admite un error de 0.01 mm. La superficie de la cáscara del huevo se determinó mediante la siguiente fórmula: área = 3.9782 W × 0.7056 donde W es el peso del huevo en gramos. Los huevos se dividieron en tres categorías con base en el grosor de la cáscara, así: la primera categoría (cáscaras delgadas 0.28–0.30 mm); la segunda categoría (cáscaras medianas 0.33–0.36 mm) y la tercera categoría (cáscaras gruesas 0.39–0.41 mm) y además se registró el porcentaje de producción de huevos en fárfara durante las 3 semanas. Estos datos se compararon estadísticamente mediante las pruebas de Kruskal-Wallis y pruebas "*t*" de Dunnet para datos no-pareados. Se consideró un valor estadísticamente significativo cuando $P \leq 0.05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron con SPSS 14.0 para Windows.

AVEM
Aviespecialistas de México

Cuadro 1. Composición y contenido de nutrientes calculado de la dieta grupo GCC2 y GCC3.

Ingredientes (Kg)	
Maíz	595
Harina de soya 48%	267
Aceite de soya	13.00
Sal	4.00
Carbonato de calico	101.00
Ortofosfato 1820	11.00
Vitamina-E	3.00
DL-metionina 99	1.98
L-lisina 2.75	2.75
Vitamina B2	0.200
Vitamina B12	0.200
Fitasa Ronozyme (GT)	0.100
Total	1000
Analisis Calculado (g/kg)	
Energia Metabolizable (Kcal/kg)	2859
Proteina cruda%	18.792
Calcio Total	4.100
Fosforo (Disp)3.80	0.450
Metionina + Cisteina 4.50	0.800
Lisina%	0.980
Triptofano%	0.220
Sodio%	0.180
Colina (mg/kg)	1022.63
Cloro%	0.275
Ácido linoleico %	1.867

[1]Cantidad/kg: Retinol 0.9 g, colecalciferol 0.019 g, d-alfa tocoferol l0.004 g, filloquinona 1.0 g, riboflavina 4.0 g, cianocobalamina 0.060 g, piridoxina 3.0 g, pantotenato de calcio 13.0 g, niacina 25 g, biotina 0.063 g, cloruro de colina 250 g. [2]Cantidad / kg: 0,2 g de selenio, 0,1 g de cobalto, 0,3 g de yodo, 10 g de cobre, 50 g de zinc, 100 g de hierro, 100 g de manganeso.

AVEM
Aviespecialistas de México

Cuadro 2. Composición y contenido de nutrientes calculado de la dieta para los grupos experimentales.

Ingredientes (Kg)	
Maíz	595
Harina de soya 48%	267
Aceite de soya	13.00
Sal	4.00
Carbonato de calico	0
Ortofosfato 1820	11.00
Vitamina-E	3.00
DL-metionina 99	1.98
L-lisina 2.75	2.75
Vitamina B2	0.200
Vitamina B12	0.200
Fitasa Ronozyme (GT)	0.100
Total	1000
Analisis Calculado (g/kg)	
Energia Metabolizable (Kcal/kg)	2859
Proteina cruda%	18.792
Calcio Total	0
Fosforo (Disp)3.80	0.450
Metionina + Cisteina 4.50	0.800
Lisina%	0.980
Triptofano%	0.220
Sodio%	0.180
Colina (mg/kg)	1022.63
Cloro%	0.275
Ácido linoleico %	1.867
Carbonato de Calcio en FOLA	101.0

[1]Cantidad/kg: Retinol 0.9 g, colecalciferol 0.019 g, d-alfa tocoferol l0.004 g, filloquinona 1.0 g, riboflavina 4.0 g, cianocobalamina 0.060 g, piridoxina 3.0 g, pantotenato de calcio 13.0 g, niacina 25 g, biotina 0.063 g, cloruro de colina 250 g. [2]Cantidad / kg: 0,2 g de selenio, 0,1 g de cobalto, 0,3 g de yodo, 10 g de cobre, 50 g de zinc, 100 g de hierro, 100 g de manganeso.

Resultados

En la figura 1 se presentan los resultados de las mediciones de grosor de los 6 grupos durante 3 semanas y en el cuadro 1 se presenta el promedio de dicho dato por semana, también en los 6 grupos. En la figura 2 y cuadro 2 se presentan los porcentajes de postura por día o promedio semanal, de los 6 grupos durante 3 semanas. El análisis estadístico revela que los datos de postura y grosor de los grupos con tratamiento fueron estadísticamente superiores a los valores logrados en los grupos testigo. Esto se hace progresivo en la primera semana ($P < 0.05$ en todos los casos) y se mantiene durante la segunda y tercera semana ($P < 0.05$). En particular destacan las cifras logradas en el grupo ▲GFexC2 con valores estadísticamente distintos a los otros grupos en algunos días y en una u otra de las variables medidas (véase figuras 1 y 2)

Cuadro 1. Grosor del cascaron de los 6 grupos por semana de medición y el promedio de las tres semanas evaluadas

Semana	GCC2		GFcC2		GfexC2		GCC		GFcC3		GfexC3	
	PROM	± 1 DE	PROM	± 1 DE	PROM	± 1 DE	PROM	± 1 DE	PROM	± 1 DE	PROM	± 1 DE
1	0.29	0.01	0.34	0.02	0.36	0.04	0.22	0.03	0.33	0.04	0.34	0.05
2	0.30	0.01	0.37	0.01	0.39	0.02	0.22	0.02	0.36	0.01	0.37	0.04
3	0.29	0.01	0.36	0.01	0.39	0.39	0.21	0.21	0.37	0.37	0.39	0.39
Total	0.292[a]	0.012	0.358[b]	0.021	0.378[c]	0.035	0.225[d]	0.024	0.355[b]	0.028	0.365[b,c]	0.042

Diferentes literales entre columnas significan diferencias estadísticas entre grupos (P< 0.5)
GCC2= grupo control ciclo 2; GFcC2= grupo FOLA + capsaicina 2 ppm; GfexC2= frupo FOLA + capsaicina+ curcuma en polvo + canela en polvo; GCC3= grupo control ciclo 3; GFcC3= grupo FOLA + capsaicina 2 ppm; GFexC3= frupo FOLA + capsaicina+ curcuma en polvo + canela en polvo.

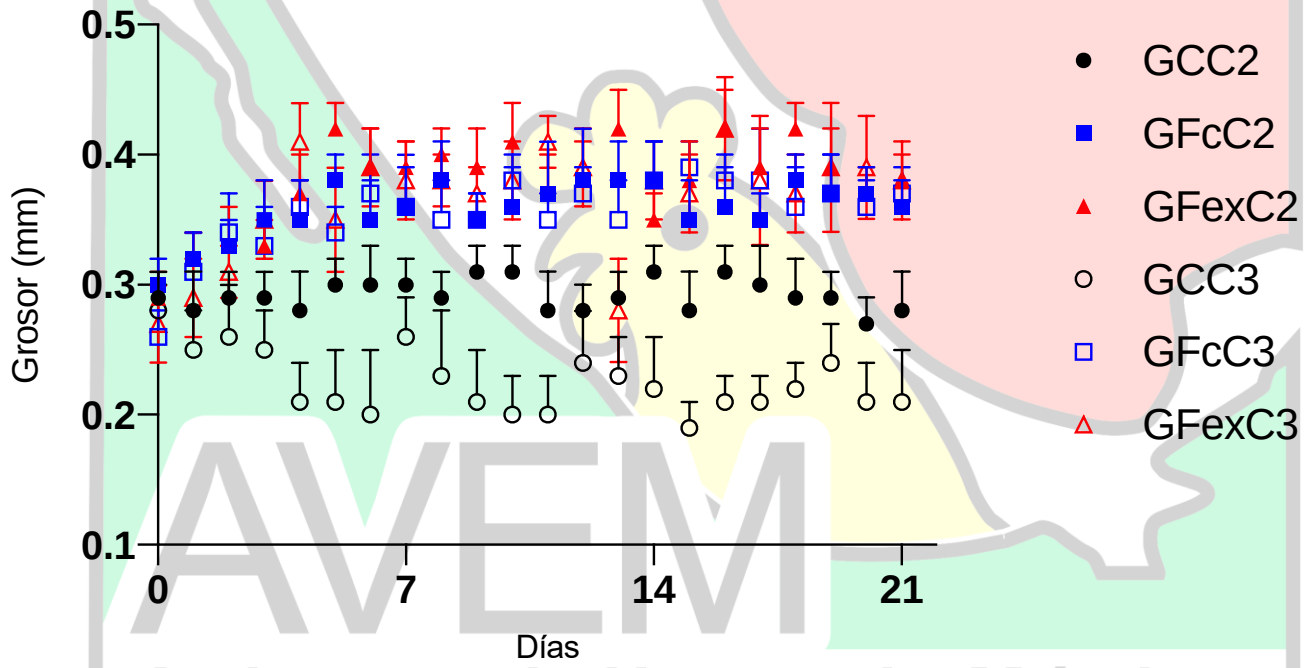


Figura 1. Grosor del cascaron (mm) en los 6 grupos evaluados, con mediciones por día durante 3 semanas. ● GCC2 = grupo control del ciclo 2; ■ GFcC2 = grupo FOLA + capsaicina 2 ppm; ▲ GfexC2 = grupo FOLA + capsaicina + cúrcuma en polvo + canela en polvo; **o** GCC3 = grupo control del ciclo 3; ▫ GFcC3 = grupo FOLA + capsaicina 2 ppm; △GFexC3 = grupo FOLA + capsaicina + cúrcuma en polvo + canela en polvo.

Cuadro 2. Porcentajes de postura de los 6 grupos por semana de medición y el promedio de las tres semanas evaluadas

Semana	GCC2		GFcC2		GfexC2		GCC		GFcC3		GfexC3	
	PROM	± 1 DE	PROM	± 1 DE	PROM	± 1 DE	PROM	± 1 DE	PROM	± 1 DE	PROM	± 1 DE
1	44.25	3.73	74.63	12.19	76.25	15.09	41.38	3.11	74.75	12.86	75.50	12.93
2	44.29	1.98	80.86	2.27	83.00	2.83	40.86	2.85	78.86	0.90	79.86	1.95
3	43.29	4.31	81.71	0.95	82.86	2.97	40.86	2.54	79.43	0.79	82.29	1.11
Promedio	43.95[a]	3.36	78.86[b]	7.88	80.50[c]	9.57	41.05[d]	2.37	77.55[b,c]	7.76	79.05[e,b,c]	8.10

● GCC2 = grupo control del ciclo 2; ■ GFcC2 = grupo FOLA + capsaicina 2 ppm; ▲ GfexC2 = grupo FOLA + capsaicina + cúrcuma en polvo + canela en polvo; **o** GCC3 = grupo control del ciclo 3; ▫ GFcC3 = grupo FOLA + capsaicina 2 ppm; △ GFexC3 = grupo FOLA + capsaicina + cúrcuma en polvo + canela en polvo

[a, b, c] Diferentes literales entre columnas significan diferencias estadísticas entre grupos (P< 0.5)

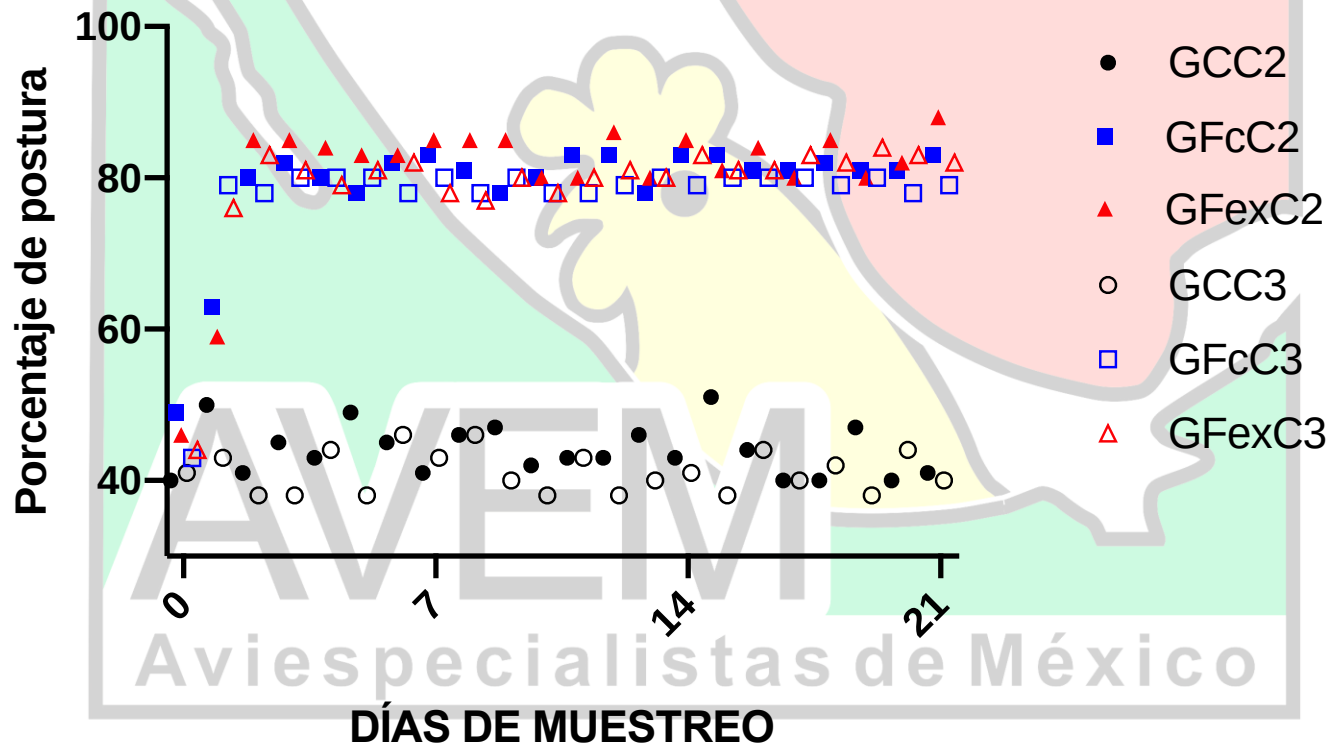


Figura 2. Porcentajes de postura en los 6 grupos evaluados, con mediciones diarias durante 3 semanas. ● GCC2 = grupo control del ciclo 2; ■ GFcC2 = grupo FOLA + capsaicina 2 ppm; ▲ GfexC2 = grupo FOLA + capsaicina + cúrcuma en polvo + canela en polvo; **o** GCC3 = grupo control del ciclo 3; ▫ GFcC3 = grupo FOLA + capsaicina 2 ppm; △ GFexC3 = grupo FOLA + capsaicina + cúrcuma en polvo + canela en polvo

Discusión

La vida útil de las gallinas de postura en las empresas pecuarias se limita generalmente a un solo ciclo. Esto se debe tanto a los compromisos comerciales con las incubadoras, como a la caída de la producción que suele ser drástica en las aves en el segundo ciclo con decrementos superiores al 30 %. Para muchos productores y Veterinarios resulta entonces más conveniente reemplazar la parvada en lugar de mantenerla. Las ventajas o desventajas de esta práctica van desde el

ámbito de la huella de carbón que significa un reemplazo constante, hasta cuestiones de bienestar animal y humanidad al extender la vida de estas aves. Estas consideraciones escapan a los objetivos del presente trabajo, pero quedan acotadas para su análisis posterior. Sin embargo, con las FOLAs descritas en este ensayo se tiene la opción de extender un segundo y hasta un tercer ciclo a las gallinas productoras de huevo. Será de interés particular realizar estudios económicos tanto en gallinas productoras de huevo para plato como en gallinas progenitoras. En contraste, con las aves en unidades de producción, la gallina de traspatio o de pequeños productores tiende a tener una vida productiva más prolongada pues no resulta del todo redituable su reemplazo en la mayoría de los casos. Los resultados logrados en este ensayo pueden ser de gran utilidad para este segmento de la producción de huevo y de manera inmediata.

La calidad de los huevos de gallina depende de muchos factores [19, 20], pero la integridad y grosor del cascarón son esenciales para su comercialización y manipulación. Para lograr un cascarón de calidad, resistente, es crítico que se logre una biodisponibilidad óptima del calcio [7, 21, 22]. En este sentido, es de destacarse que una de las principales fuente de calcio para las gallinas es el carbonato de calcio, por ser la fuente de calcio más económica y utilizada en la mayoría de las dietas en todo el mundo. No obstante, es quizá la fuente de calcio menos hidrosoluble y por ello la absorción de calcio puede ser baja e impredecible a partir del segundo ciclo de postura del huevo [18, 22]. Adicionalmente, se reconoce que no solo es la cantidad de calcio la que es deficientemente absorbida, la absorción de otros nutrientes también parece estar afectada durante el segundo ciclo de producción generando las pérdidas ya mencionadas (Pelicia K. , y otros, 2009). La medicación de gallinas de segundo y tercer ciclo con calcio en un diseño FOLA, fortificado con algunos aditivos fitogénicos, logra una notable recuperación de la producción de huevo. Se han probado en múltiples ensayos que los aditivos fitogénicos son de gran importancia para mejorar o contribuir a la salud del TGI de las aves y pueden mejorar en gran medida tanto la producción como el bienestar de las aves [5, 24], e incluso pueden mitigar el impacto ambiental debido a la relación entre producción y consumo de alimento [25, 26]. Asi pues, este diseño obedece a la necesidad de diseñar fuentes de calcio que puedan permanecer disponibles en el TGI de las gallinas productoras de huevo cuando realmente se requieren v.g., durante el proceso de formación de cascarón en las noches mediante liberación programada del carbonato de calcio y con elementos que favorezcan la biodisponibilidad [18]. Además, se postula que la inclusión de los aditivos fitogénicos en las FOLAs usadas contribuye al mantenimiento de una salud intestinal cercana a lo idóneo para las exigencias productivas de las aves de líneas genéticas modernas. Las bases teóricas de las FOLAs aquí descritas ya han sido publicadas en parte [18] y es factible asumir que la o las fórmulas idóneas aún requieran investigaciones adicionales.

El presente proyecto se logró gracias al apoyo del proyecto PAPIIT IT200322

Referencias

[1] SIAP., «Escenario mensual de productos agroalimentarios. Huevo para plato,» *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera,* vol. www.gob.mx, p. 2, 2022.

[2] Agricultura, FAO. , «Producción y productos avícolas,» Vols. %1 de %2https://www.fao.org/poultry-production-products/production/es/, 2022.

[3] UNA. Union de Avicultures , «México, promedio de consumo anual:345 huevos por habitante,» *Unión Nacional de Avicultored,* Vols. %1 de %2https://una.org.mx/mexico-promedio-de-consumo-anual-345-huevos-por-habitante/, 2022.

[4] S. Indrani, J. Siddhartha y D. Pradip, «Biosecurity Strategies for Backyard Poultry: A Controlled Way for Safe Food Production,» *Food Control and Biosecurity.,* pp. 481-517, 2018.

[5] S. R. Hashemi y H. Davoodi, «Phytogenics aa a new class of feed additive in poultry industry,» *Journal of Animal and Veterinary Advances,* vol. 9, nº 17, pp. 2295-2304, 2010.

[6] K. Küçükyılmaz, M. Bozkurt, E. N. Herken, M. Çınar, A. Çatlı, E. Bintaş y F. Çöven, «Effects of Rearing Systems on Performance, Egg Characteistics and Immune Response in Two Layer Hen Genotype,» *Asian-Australasian Journal of Animal Science,* vol. 25, nº 4, pp. 559-568, 2012.

[7] S. Abdulhakim, A. Salam y T. Reza, «Egg quality and safety with an overview of edible coating application for egg preservation,» *Food Chemistry,* vol. 296, nº 29, p. 39, 2019.

[8] P. Rao y S. Gan, «Cinnamon: A multifaceted Medicinal Plant,» *Evidenced-Based Complementary and Alternative Medicine,* 2014.

[9] R. Dimas y K. Dewettinck, «Cinnamon and its derivatives as potential ingredient in functional food—A review,» *International Journal of Food Properties,* vol. 20, pp. 2237-2263, 2017.

[10] Y. Yang, L. Zhao, Y. Shao, X. Liao, L. Zhang, L. Lu y X. Luo, «Effects of dietary graded levels of cinnamon essential oil and its combination with bamboo leaf flavonoid on immune function, antioxidative ability and intestinal microbiota of broilers,» *Journal of Integrative Agriculture,* vol. 18, nº 9, pp. 2123-2132, 2019.

[11] A. Yaqoob, P. Razzaq, S. Iqbal, H. Obaid, H. Ishtiaq, S. Hussain, A. Waheed , M. Rizwan, M. Altaf, H. Zahid y A. Akhat, «Cinnamon Bioactives and their Impact on Poultry Nutrition and Meat Quality - Impact on Human Health,» *Acta Scientific NUTRITIONAL HEALTH,* vol. 6, nº 2, pp. 29-38, 2022.

[12] E. Fariba, Z. Masoumeh, Y. Yousefpoor, H. Alipanah, E. Safari y M. Osanloo, «Anti-inflammatory and anti-nociceptive effects of Cinnamon and Clove essential oils nanogels: an in vivo study,» *BMC Complementary Medicin and Therapeutic,* vol. 22, p. 143, 2022.

[13] N. Puvača, D. Ljubojević, N. Spasevski, N. Nikolova, P. Rodijov y J. Bošković, «Effects of Turmeric Powder (Curcuma Longa) in Laying Hens Nutrition: Table Eggs Production, Quality and Lipid Profile,» *Concepts of Dary and Veterinary Sciences,* vol. 2, nº 1, pp. 162-164, 2018.

[14] R. Khan, M. Naz, M. Nikousefat, M. Selvaggi, V. Tufarelli y V. Laudadio, «The use of Turmeric (Curcuma longa) in poultry feed,» *World's Poultry Science Journal,* vol. 68, pp. 97-103, 2012.

[15] M. Manjunath y P. Yashodhar, «Natural antibiotic effect of turmeric in poultry management,» *International Journal of Poultry and Fisheries Sciences,* pp. 1-3, 2019.

[16] C. Laganá, E. Braga, J. Sartori, P. Nogueira, E. Gonzalez, R. Luciano, G. Zenatta y V. Barbosa, «Turmeric on Poultry Production: A Review,» *Agricultural Sciences,* vol. 10, pp. 1592-1601, 2019.

[17] L. Gutierrez, J. Zermeño, Y. Alcala y H. Sumano, «Higher bioavailability of doxycycline in broiler chickens with a novel in-feed pharmaceutical formulation,» *Poultry Science,* vol. 96, nº 8, pp. 2662-2669, 2017.

[18] L. Carrillo, M. Bernad, M. Monrroy-Barreto, C. Coello , H. Sumano y L. Gutierrez, «Higher Bioavailability of Calcium in Chickens With a Novel In-Feed Pharmaceutical Formulation,» *Front Vet Sci ,* vol. 7, nº 343, 2020.

[19] J. Roberts, «Factors Affecting Egg Internal Quality and Egg Shell Quality in Laying Hens,» *Poultry Science,* vol. 41, nº 3, pp. 161-177, 2004.

[20] F. Ahmadi y F. Rahimi, «Factors Affecting Quality and Quantity of Egg Production in Laying Hens: A Review,» *World Applied Sciences Journal,* vol. 12, nº 3, pp. 372-384, 2011.

[21] Y. Attia, M. Al-Harthi y H. El Maaty, «Calcium and Cholecalciferol Levels in Late-Phase Laying Hens: Effects on Productive Traits, Egg Quality, Blood Biochemistry, and Immune Responses,» *Frontiers Veterinary Science,* vol. 7, 2020.

[22] H. Sumano-Lopez, L. Carrillo-Gonzalez, M. Monroy-Barreto, G. Tapia-Perez y L. Gutierrez-Olvera, «Bioavailability of four calcium sources in the second-cycle egg-producing hens,» *Journal of Applied Poultry Research,* vol. 30, nº 1, 2021.

[23] K. Pelicia, E. Garcia, A. Faitarone, A. Silva, A. Molino y F. Vercese, «Calcium and available phosphorus levels for laying hens in second production cycle,» *Brazilian Poultry Sciece,* vol. 11, nº 1, 2009.

[24] G. Xiao, L. Zheng, X. Yan, L. Gong, Y. Yang, Q. Qui y H. Zhang, «Effects of Dietary Essential Oils Supplementation on Egg Quality, Biochemical Parameters, and Gut Microbiota of Late-Laying Hens,» *Animals,* vol. 12, 2022.

[25] L. Zhang, F. Gao, H. Li, F. Xia, H. Bai, X. Piao y L. Shi, «Potential of Aromatic Plant-Derived Essential Oils for the Control of Foodborne Bacteria and Antibiotic Resistance in Animal Production: A Review,» *Antibiotics,* vol. 11, nº 1673, 2022.

[26] G. M, «Essential Oils as a Feed Additive in Poultry Nutrition,» *Advances in Animal and Veterinary Science,* vol. 2, nº 1, pp. 1-7, 2013.

[27]

[28] I. O. Autor, S. P. Autor y T. R. Autor, «Titulo publicación».

AVEM
Aviespecialistas de México

EFECTO DE LA COMBINACIÓN DE VITAMINAS C Y D3 CON FUENTES QUELADAS DE ZINC Y MANGANESO SOBRE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE HUEVOS EN GALLINAS DE EDAD AVANZADA Y SOMETIDAS A ESTRÉS TÉRMICO

Anne-Sophie Hascoët y Paul Cardozo
Departamento técnico, MPA Veterinary Medicines and Additives, España
infolatam@mpaveterinary.com

Resumen

Los daños en la cáscara de huevo representan una de las causas de mayores pérdidas económicas para la industria avícola. Múltiples factores pueden afectar la calidad de cáscara, entre ellos, la alimentación, la estirpe, la edad de las gallinas y las condiciones de cría en cuanto al manejo y condiciones medioambientales.

Se eligió un total de 6500 gallinas ponedoras Dekalb de 66 a 70 semanas de edad, distribuidas de forma aleatoria en dos grupos experimentales: (i) dieta estándar, y (ii) dieta estándar con una combinación de vitaminas (C y D_3) y fuentes queladas de zinc y manganeso (2 kg/t de alimento) durante 30 días consecutivos. Se evaluó la calidad en términos de cáscara (grosor y resistencia con el índice de huevos rotos y fisurados) y calidad interna del huevo (altura del albumen, coloración de la yema) a día 1, 15 y 30 de ensayo. Se valoró además diariamente el estado de salud, mortalidad y rendimiento de puesta. Los resultados indican que las gallinas suplementadas con la combinación de vitaminas y minerales presentaron mayor porcentaje de puesta ($P<0,05$), menor número de huevos rotos y fisurados (-11,3%) ($P<0,05$), mayor grosor de cáscara ($P<0,05$). En cuanto a calidad interna, este complemento alimenticio incrementó la altura del albumen ($P<0,05$), parámetro directamente relacionado con frescor y calidad de huevo, y estabilizó la intensidad de color de la yema. Finalmente, en las condiciones de doble desafío (gallinas de edad avanzada y estrés térmico), se observó una mejora en la persistencia de la producción de huevos y una reducción de la variabilidad en cuanto a calidad del producto final en 30 días. En conclusión, este estudio sugiere que la suplementación de vitaminas (C y D_3) con minerales orgánicos (Zn y Mn) a razón de 2 kg/tonelada de alimento desempeña un papel clave en el rendimiento productivo de gallinas ponedoras avanzadas en edad y sometidas a estrés térmico, optimizando el índice de puesta y la calidad tanto externa como interna del huevo.

Palabras Clave: Suplemento nutricional, cáscara de huevo, albumen, estrés térmico, gallinas ponedoras.

Abstract

Egg shell damage represents one of the major causes of economic losses for the poultry industry. Multiple factors can affect eggshell quality, including feed, strain, hen age, and rearing conditions in terms of management and environmental conditions. A total of 6500 Dekalb laying hens from 66 to 77 weeks of age were randomly distributed into two experimental groups: (i) standard diet, and (ii) standard diet with a combination of vitamins (C and D_3) and chelated sources of zinc and manganese (2 kg/t of feed) for 30 consecutive days. Egg quality was evaluated in terms of eggshell and egg resistance (percentage of broken and cracked eggs) and internal egg quality (albumen height and yolk color) at 1, 15 and 30 days of test. Health status, mortality and laying performance were also assessed daily. The results indicated that hens supplemented with the combination of vitamins and minerals in chelated form increased the laying percentage ($P<0.05$), reduced the number of broken and cracked eggs by -11.3% ($P<0.05$), and improved eggshell thickness ($P<0.05$). In terms of internal quality, this feed-supplement increased albumen height ($P<0.05$), a parameter directly related to egg freshness and quality, and stabilized yolk color intensity. Finally, in the double challenge conditions (older hens and heat stress), an improvement in egg yield persistency and a reduction in variability in terms of final product quality was observed at 30 days. In conclusion, this study suggests that the supplementation of vitamins (C and D_3) with organic minerals (Zn and Mn) at a rate of 2 kg/t plays a key role in the productive performance of aged and heat-stressed laying hens, improving the laying index and both external and internal egg quality.

Key Words: Nutritional supplement, eggshell, albumen, heat stress, laying hens.

INTRODUCCIÓN

La fisura y rotura de huevos sigue siendo una de las causas de mayores pérdidas económicas para las explotaciones de gallinas ponedoras y reproductoras. De forma general, se estima que un 3% de los huevos puestos por gallinas que estén en jaulas o en sistemas de cría en libertad tiene la cáscara dañada (1). Además, la mala calidad de la cáscara es una

preocupación importante para la seguridad alimentaria, ya que los huevos con daños en la cáscara se contaminan más fácilmente con bacterias (2). Múltiples factores pueden afectar la calidad de cáscara del huevo (3). Entre ellos, la alimentación es un factor considerable ya que un inadecuado aporte de minerales como el calcio puede repercutir en un mayor índice de huevos fisurados y rotos (4). La estirpe y la edad de las gallinas también son factores notables (2,5). A medida que la gallina avanza en el ciclo productivo, se produce una disminución de la calidad de la cáscara de los huevos. El número de huevos fisurados y dañados puede aumentar hasta un 20-30% al final del ciclo de puesta (de 65 a 70 semanas). Esta afectación de la calidad de cáscara en las gallinas de más edad se debe, por una parte, a una menor absorción de calcio en el intestino y, por otra, a un aumento del tamaño de los huevos. Este último factor se traduce en una disminución del grosor de la cáscara y del porcentaje de peso de la cáscara respecto a la masa de huevo y, entonces, mayor fragilidad (2). El estrés, en especial, el estrés térmico y otras deficiencias en cuanto a bienestar animal pueden repercutir de forma negativa sobre la calidad de huevo (4,6). En este sentido, las condiciones de producción (enriquecimiento de las jaulas, acceso al aire libre) son relevantes de cara a la calidad de huevo. Más interesante aún, es la interacción entre estos distintos factores que es determinante (4).

Como estrategias para favorecer la calidad de huevo, se han probado a lo largo de estos últimos años diferentes suplementos nutricionales a base de calcio (7), de diferentes formas de vitamina D (8–11), de microminerales (12), probióticos (13) y fitobióticos (14,15). La suplementación de zinc (Zn) y manganeso (Mn) es clave en el mantenimiento de la integridad de la cáscara del huevo ya que son activadores enzimáticos de la anhidrasa carbónica, la lisil-oxidasa y las glicosil-transferasas (16,17). Sin embargo, se ha indicado que existen diferencias en la biodisponibilidad del Zn entre sulfatos, óxidos y carbonatos de Zn. Últimamente el interés está dirigido hacia fuentes de minerales quelados o ligandos orgánicos con una mayor biodisponibilidad (18). El manganeso es un cofactor de las enzimas glicosil-transferasa y fosfatasa alcalina, que participan en la síntesis de polisacáridos y proteínas durante la formación de la matriz. Una deficiencia de manganeso conlleva defectos en la pigmentación y en la cáscara aumentando su fragilidad. Por otro lado, la vitamina D_3 está implicada en el metabolismo y absorción en intestino de calcio y fósforo, su reabsorción por el riñón y la mineralización (deposición) y desmineralización (movilización) de los huesos (19). En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la eficacia de una combinación de vitaminas (C y D_3) con fuentes queladas de Zn y Mn sobre la producción y calidad de huevos en gallinas ponedoras de edad avanzada y sometidas a estrés térmico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales

La prueba fue llevada a cabo en una explotación privada en Tarlac, Filipinas. Se incluyó en esta prueba un total de 6500 gallinas ponedoras Dekalb de 66 a 70 semanas de edad, distribuidas de forma aleatoria en dos grupos experimentales.

Instalaciones

Las instalaciones no disponían de ambiente controlado viéndose afectadas por las elevadas temperaturas exteriores (30°C±2°C) y nivel de humedad (≈87±3%). Todas las aves estuvieron expuestas a las mismas condiciones ambientales de humedad y temperatura y al mismo manejo durante toda la puesta. Para seleccionar la explotación como candidata a la prueba, se verificó que las naves fueran limpiadas y desinfectadas antes del inicio del ciclo productivo, realizando un vacío sanitario antes de la entrada de este lote de gallinas y se verificó que la pauta de manejo fuera adecuada dentro de las posibilidades de la granja. También se comprobó la capacidad de los operarios para registrar los datos de forma correcta.

Alimentación

Todas las aves recibieron la misma dieta basal. Estas raciones fueron formuladas considerando las recomendaciones nutricionales de la línea Dekalb. La prueba tuvo una duración de 30 días, las aves tuvieron libre acceso al alimento y al agua de bebida.

Grupos experimentales

Los grupos experimentales fueron: (i) Grupo control: dieta estándar, y (ii) Grupo OvoActive: dieta estándar suplementada con la combinación de vitaminas (C y D_3) con fuentes queladas de Zn y Mn a razón de 2 kg/t de alimento. El producto OvoActive fue suministrado por MPA Veterinary Medicines and Additives (Barcelona, España).

Mediciones experimentales

Se evaluó la calidad de huevo, en términos de grosor de la cáscara (global y en tres localizaciones de la cáscara: a nivel superior, medio e inferior del huevo), color de la yema, altura del albumen. Para ello, se midieron estos parámetros a partir de una muestra representativa de cada grupo experimental a día 1, 15 y 30 desde el inicio del ensayo. Además, se valoró diariamente el estado de salud, mortalidad, consumo de alimento, rendimiento de puesta y resistencia del huevo (porcentaje de huevos rotos y fisurados).

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados de manera cualitativa, a través de la descripción de las variables, y cuantitativa, utilizando la prueba de ANOVA de R-Studio para determinar diferencias entre grupos y el test de comparación múltiple post hoc Tukey para determinar las diferencias entre los promedios de los grupos experimentales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad externa

La adición de la combinación de vitaminas (C y D_3) con fuentes queladas de Zn y Mn incrementó el grosor de la cáscara de huevo (**Figura 1**) en las semanas 68 y 70 de edad, en comparación con el grupo control (P<0,05). Un mayor grosor de cáscara repercute favorablemente sobre el índice de huevos rotos y fisurados ya que incrementa la resistencia a los posibles impactos (20). De hecho, como se observa en la **Figura 5**, la incidencia de huevos no aptos para su comercialización debido a defectos en la cáscara se redujo en un 11,3% en esta prueba. Como describen Mertens et al. (2006), los huevos se rompen más en la etapa de puesta, propiamente dicha, y de recolección (21). Es por lo tanto crucial para el rendimiento de la explotación reducir el número de huevos dañados en esta fase productiva de granja.

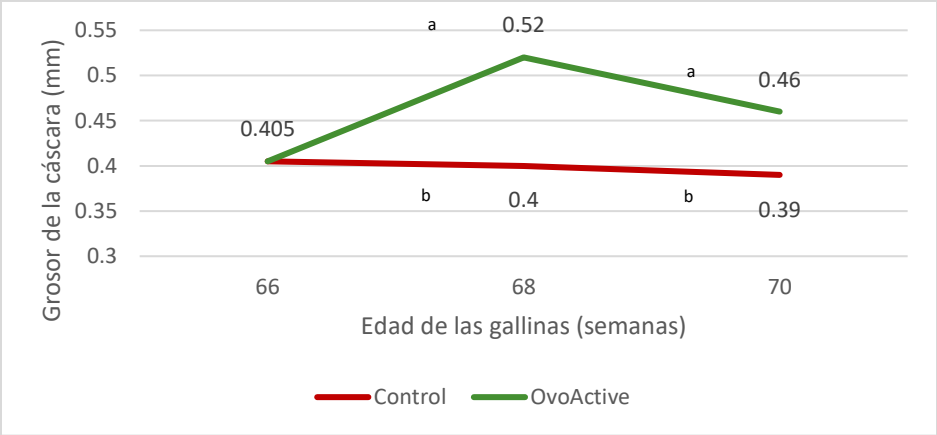


Figura 1. Mediciones del grosor de cáscara en ambos grupos experimentales (P<0,05).

Al analizar la cáscara con más detalle, se observó que esta suplementación especial en dieta tuvo un efecto postivo sobre el grosor de ésta, especialmente en la zona medio (tanto a los 15 como a los 30 días de ensayo) y en la parte superior del huevo (a 30 días) (P<0,05) (**Figura 2**). Respecto a la parte inferior de la cáscara de huevo, sólo se notaron diferencias significativas a los 15 días de suplementación (P<0,05).

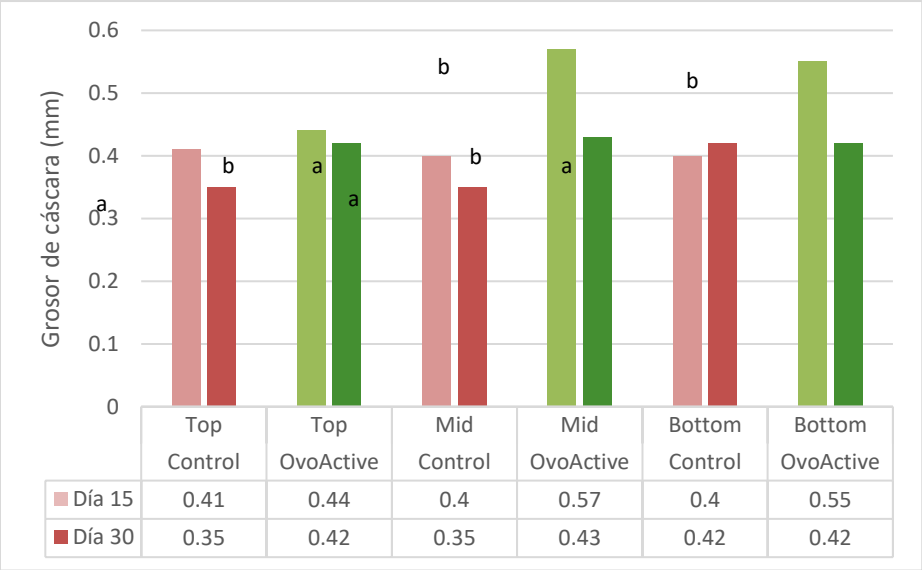


Figura 2. Mediciones del grosor de cáscara tomando 3 medidas: en la parte superior ("Top"), media ("Mid") e inferior ("Bottom") del huevo (P<0,05), en ambos grupos experimentales a 15 y 30 días del inicio de la prueba.

Estos resultados coinciden con los obtenidos recientemente por Hajjarmanesh et al. (2023) ya que observaron que la suplementación con manganeso y taurina mejora la calidad de cáscara en gallinas ponedoras tras el pico de puesta. Además, al combinar estos dos aditivos con zinc mejora también la gravedad específica, parámetro diseñado para evaluar rápidamente la calidad de cáscara(22).

Calidad interna

La combinación de vitaminas (C y D_3) con fuentes queladas de Zn y Mn mejoró la altura del albumen tanto a 15 como a 30 días de ensayo (P<0,05) (**Figura 3**). La altura del albumen es un indicador de calidad y se correlaciona positivamente con la frescura del huevo (23).

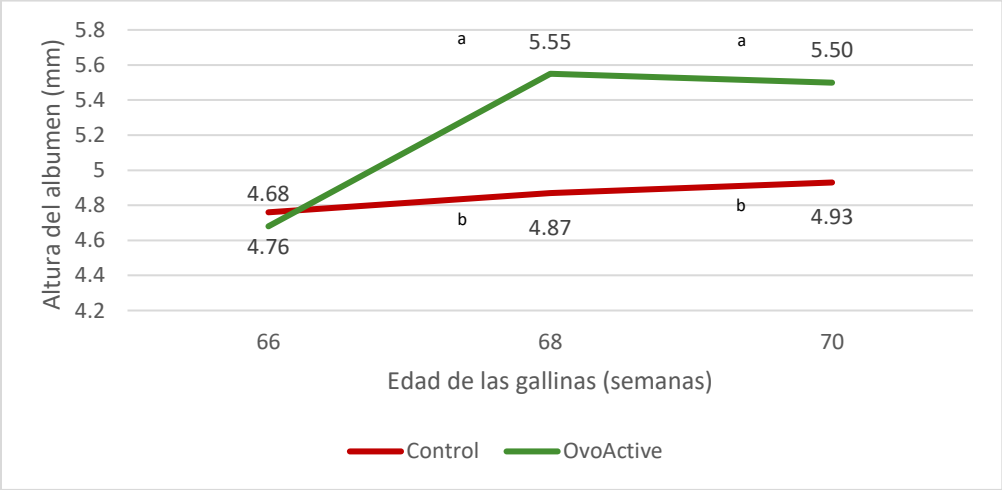


Figura 3. Mediciones de altura del albumen en grupo control y grupo suplementado, a las 66, 68 y 70 semanas de edad de las gallinas (P<0,05).

En cuanto al score de color de yema, la estrategia de suplementación nutricional logró mantener más estable la coloración de la yema (**Figura 4**). De cara a este tipo de explotación comercial, es muy relevante poder entregar un producto final de

calidad constante. Nótese que la coloración de la yema es otro de los atributos más importantes para los consumidores finales de huevo (24).

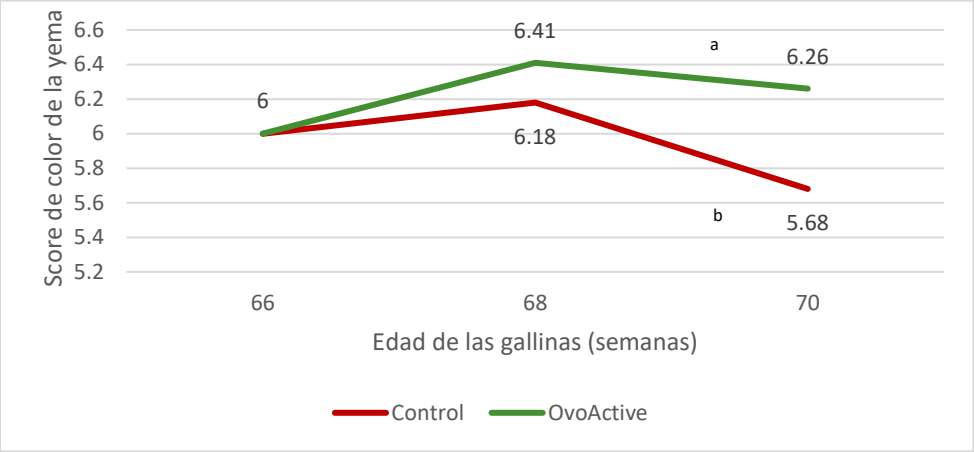


Figura 4. Mediciones del score de color de la yema en ambos grupos experimentales (P<0,05).

Estos resultados coinciden con lo descrito por Ramos-Vidales et al. (2019) que describieron que la utilización de microminerales de origen orgánico (durante 12 semanas consecutivas) perfecciona la coloración de la yema, la resistencia de la cáscara y el tiempo de conservación. Con esta aplicación de minerales orgánicos, estos autores lograron obtener el mismo rendimiento productivo respecto a incluso una mucha mayor dosis de minerales inorgánicos (25).

Rendimiento productivo

La combinación de vitaminas (C y D_3) con fuentes queladas de Zn y Mn evidenció un efecto positivo sobre la produccion de huevos y sobre la resistencia del huevo (menos porcentaje de roturas y fisuras) en comparación con el grupo control (**Figura 5**). Los resultados son coherentes con los conseguidos por Saleh et al. (2020) ya que observaron que la mezcla de minerales orgánicos (Mn, Zn y Cu) mejora el rendimiento productivo de huevos y la calidad de cáscara (26). Estos múltiples hallazgos se pueden explicar por el mecanismo de acción de este complemento alimentario. Por una parte, la vitamina D_3 promueva la absorción de calcio y, por lo tanto, favorece el proceso de calcificación de la cáscara (11). Por otra, la vitamina C contrarresta los efectos perjudiciales del estrés térmico (27).

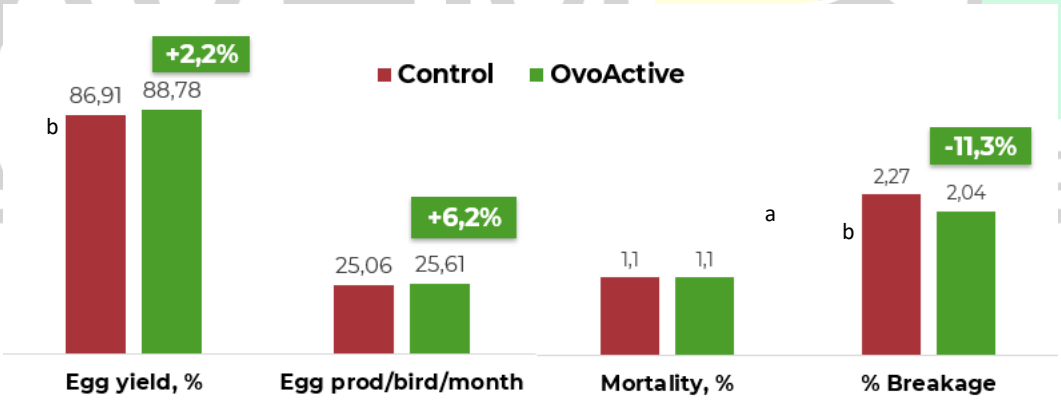


Figura 5. Efecto de la suplementación nutricional sobre el rendimiento y la producción de huevos por aves y mes, la mortalidad y el porcentaje de huevos rotos (P<0,05).

En la **Figura 6**, se puede observar cómo esta suplementación basada en vitaminas (C y D_3) y fuentes queladas de Zn y Mn permite mantener un mejor índice de puesta, en comparación con el grupo control. Este aditivo logra frenar los efectos naturales del envejecimiento de las gallinas que conducen a una reducción de la puesta (2).

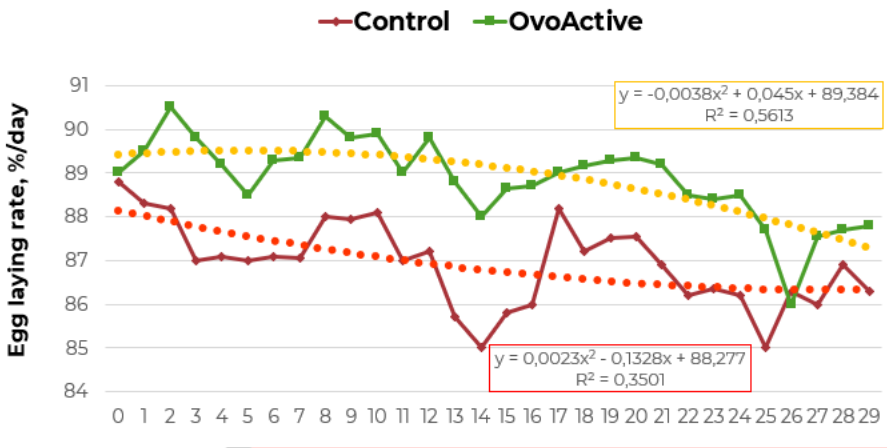


Figure 6. Efecto de la suplementación nutricional sobre el porcentaje de puesta sobre los 30 días de prueba.

La combinación entre vitamina D_3 y vitamina C ofrece mejores resultados de conversión alimenticia y potencia el rendimiento productivo de ponedoras y reproductoras de igual forma que la adición de 25-hidroxivitamina D_3 (25(OH)D_3) (28). En este campo de investigación, se ha estudiado ampliamente la adición de diferentes formas de vitamina D (vitamina D_2, vitamina D_3 o 25(OH)D_3). En este sentido, Adhikari et al. (2020) no encontraron diferencias significativas entre vitamina D_3 y 25(OH)D_3 en cuanto a calidad del huevo y digestibilidad aparente del calcio (11). En otro estudio, se evaluaron diferentes aportes de vitamina D_3 y una combinación 50% de vitamina D_3 y 50% de 25(OH)D_3. Consiguieron el mismo crecimiento y calidad de cáscara. A nivel global, se obtuvo misma producción de huevo, consumo de alimento y conversión alimenticia (de 22 a 95 semanas) (29). Los resultados en cuanto a suplementación con distintas formas de vitamina D son, por lo tanto, variables, pero su combinación con otras vitaminas como la vitamina C repercute favorablemente sobre la producción.

CONCLUSIONES

Globalmente, la suplementación con una combinación de vitaminas C, D_3 y fuentes queladas de zinc y manganeso en dietas de gallinas ponedoras (semana 66 a 70 de edad) durante un periodo de puesta de 30 días mejoró el rendimiento productivo de las mismas. Se obtuvo mayor porcentaje de puesta y mayor persistencia así que menos porcentaje de huevos rotos y fisurados en comparación con las aves alimentadas con la dieta control.

En términos de calidad de huevo, la combinación de vitaminas C y D_3 con fuentes queladas de zinc y manganeso mejoró el grosor y resistencia de la cáscara, por lo cual hubo una reducción del número de huevos frágiles y/o dañados, lo que representa un mayor número de huevos viables para su comercialización. A nivel interno, este complemento alimenticio incrementó la altura del albumen, parámetro directamente relacionado con frescor y calidad de huevo, y estabilizó la pigmentación de la yema. Finalmente, la combinación de vitaminas C y D_3 con fuentes queladas de zinc y manganeso a razón de 2 kg/tonelada de alimento desempeña un papel clave en el rendimiento productivo de gallinas ponedoras avanzadas en edad y sometidas a estrés térmico, mejorando el índice de puesta y la calidad, tanto externa como interna del huevo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la labor del Dr. Sergio Benítez (DVM, MBA - Export Area Veterinary Manager Asia Pacific & Middle East de MPA) y la empresa de Tarlac (Filipinas) por compartir estos resultados.

Referencias

1. Hamilton RMG, Bryden WL. Relationship between eggshell breakage and laying hen housing systems–an overview. Worlds Poult Sci J. 2021;1–18.
2. Alfonso-Carrillo C, Benavides-Reyes C, de los Mozos J, Dominguez-Gasca N, Sanchez-Rodríguez E, Garcia-Ruiz AI, et al. Relationship between bone quality, egg production and eggshell quality in laying hens at the end of an extended production cycle (105 weeks). Animals. 2021; 11(623):1–12.
3. Gautron J, Dombre C, Nau F, Feidt C, Guillier L. Review: Production factors affecting the quality of chicken table eggs and egg products in Europe. Animal. 2022; 16(100425):1-13.
4. Ketta M, Tůmová E, Englmaierová M, Chodová D. Combined effect of genotype, housing system, and calcium on performance and eggshell quality of laying hens. Animals. 2020;10(11):1–12.
5. Fathi MM, Galal A, Ali UM, Abou-Emera OK. Physical and mechanical properties of eggshell as affected by chicken breed and flock age. Br Poult Sci. 2019;1–7.
6. Radwan LM. Genetic improvement of egg laying traits in Fayoumi chickens bred under conditions of heat stress through selection and gene expression studies. J Therm Biol. 2020; 89(102546):1–7.
7. Waheed M, Butt MS, Shehzad A, Adzahan NM, Shabbir MA, Rasul Suleria HA, et al. Eggshell calcium: A cheap alternative to expensive supplements. Trends Food Sci Technol. 2019; 91:219–30.
8. García Hernández M, Morales López R, Ávila González E, Sánchez Ramírez E. Mejoramiento de la calidad del cascarón con 25 hidroxicolecalciferol [25-(OH)D3] en dietas de gallinas de primero y segundo ciclos. Vet Méx. 2001; 32(3):167–74.
9. Torres CA, Luiz Vieira S, Reis RN, Ferreira AK, Xavier Da Silva P, Vinicius F, et al. Productive performance of broiler breeder hens fed 25-hydroxycholecalciferol. Revista Brasileira de Zootecnia. 2009; 38(7):1286–90.
10. Keshavarz K. A comparison between cholecalciferol and 25-OH-cholecalciferol on performance and eggshell quality of hens fed different levels of calcium and phosphorus. Poult Sci. 2003; 82:1415–22.
11. Adhikari R, White D, House JD, Kim WK. Effects of additional dosage of vitamin D3, vitamin D2, and 25-hydroxyvitamin D3 on calcium and phosphorus utilization, egg quality and bone mineralization in laying hens. Poult Sci. 2019; 0:1–10.
12. Zarghi H, Hassanabadi A, Barzegar N. Effect of organic and inorganic manganese supplementation on performance and eggshell quality in aged laying hens. Vet Med Sci. 2023 Mar 15;1–13.
13. Wang J, Wang W, Qi G, Cui C, Wu S, Zhang H, et al. Effects of dietary *Bacillus subtilis* supplementation and calcium levels on performance and eggshell quality of laying hens in the late phase of production. Poult Sci. 2021; 100(3):1–10.
14. Ruesga-Gutiérrez E, Ruvalcaba-Gómez JM, Gómez-Godínez LJ, Villagrán Z, Gómez-Rodríguez VM, Heredia-Nava D, et al. Allium-based phytobiotic for laying hens' supplementation: effects on productivity, egg quality, and fecal microbiota. Microorganisms. 2022; 10(117):1–16.
15. Martínez Y, Rodríguez R, Pupo GE, Rosabal O, Olmo C, Valdivié M. Phytobiotic effect of Psidium guajava leaf powder on productivity and quality of the egg of laying hens. Cuban Journal of Agricultural Science. 2020; 54(4):557–68.
16. Nys Y, Hincke MT, Arias JL, Garcia-Ruiz JM, Solomon SE. Avian eggshell mineralization. Poultry and Avian Biology Review. 1999; 10(3):143–66.
17. Nys Y, Gautron J, McKee MD, Garcia-Ruiz JM, Hincke MT. Biochemical and functional characterisation of eggshell matrix proteins in hens. Worlds Poult Sci J. 2001; 57(4):410–3.
18. James D. Richards, Junmei Zhao, Robert J. Harrell, Cindy A. Atwell, Julia J. Dibner. Trace Mineral Nutrition in Poultry and Swine. Asian-Aust J Anim Sci. 2010; 23(11):1527–34.
19. Atencio A, Edwards Jr HM, Pesti GM, Ware GO. The vitamin D3 requirement of Broiler breeders. Poult Sci. 2006; 85:674–92.
20. Sun L, Feng S, Chen C, Liu X, Cai J. Identification of eggshell crack for hen egg and duck egg using correlation analysis based on acoustic resonance method. J Food Process Eng. 2020; 43(8).
21. Mertens K, Bamelis F, Kemps B, Kamers B, Verhoelst E, De Ketelaere B, et al. Monitoring of eggshell breakage and eggshell strength in different production chains of consumption eggs. Poult Sci. 2006; 85:1670–7.
22. Hajjarmanesh M, Zaghari M, Hajati H, Ahmad AH. Effects of zinc, manganese, and taurine on eggshell microstructure in commercial laying hens after peak production. Biol Trace Elem Res. 2023; 201:2982–90.
23. Obianwuna UE, Oleforuh-Okoleh VU, Wang J, Zhang HJ, Qi GH, Qiu K, et al. Potential Implications of Natural Antioxidants of Plant Origin on Oxidative Stability of Chicken Albumen during Storage: A Review. Vol. 11, Antioxidants. MDPI; 2022.
24. Rondoni A, Asioli D, Millan E. Consumer behaviour, perceptions, and preferences towards eggs: A review of the literature and discussion of industry implications. Trends Food Sci Technol. 2020.
25. Ramos-Vidales D, Gómez-Verduzco G, Cortes-Cuevas A, del Río-García JC, Fernández-Tinoco S, Chárraga-Aguilar S, et al. Organic trace minerals on productive performance, egg quality and immune response in Bovans White laying hens. J Anim Physiol Anim Nutr (Berl). 2019; 00:1–8.
26. Saleh AA, Eltantawy MS, Gawish EM, Younis HH, Amber KA, Abd El-Moneim AEME, et al. Impact of dietary organic mineral supplementation on reproductive performance, egg quality characteristics, lipid oxidation, ovarian follicular development, and immune response in laying hens under high ambient temperature. Biol Trace Elem Res. 2020; 195(2):506–14.
27. Wasti S, Sah N, Mishra B. Impact of heat stress on poultry health and performances, and potential mitigation strategies. Animals. 2020; 10(1266):1–20.
28. Salvador D, Emygdio de Faria D, Roberta Mazalli M, Tsuyoshi Ito D, Emygdio de Faria Filho D, Francelino Araújo L. Vitamins D and C for laying hens at the initial phase of egg production. Revista Brasileira de Zootecnia. 2009; 38(5):887–92.
29. Chen C, Turner B, Applegate TJ, Litta G, Kim WK. Role of long-term supplementation of 25-hydroxyvitamin D3 on egg production and egg quality of laying hen. Poult Sci. 2020.

COMPORTAMIENTO NOCTURNO DEL *Gallus gallus domesticus* MINIATURA

Mateo Itza-Ortiz*, Angélica Escárcega-Ávila, Ernesto Orozco-Lucero, José Carrera-Chávez, Andrés Quezada-Casasola, Manuel Brito-Hernández
Departamento de Ciencia Veterinarias, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Juárez, Chihuahua, México.
*mateo.itza@uacj.mx

Resumen
El conocimiento del comportamiento del sueño de las gallinas son estudios importantes para conocer su comportamiento natural y poder contribuir a sugerencias sobre el bienestar de estas aves productivas en granjas comerciales que son de gran importancia en el aporte de la proteína de origen animal. El objetivo fue investigar el comportamiento nocturno de un grupo de aves domésticas del género *Gallus* para conocer la proporción del tiempo que ocupan las aves en los distintos subestados nocturno. Se observó el comportamiento de nocturno durante tres días consecutivos durante el mes de septiembre de un grupo de siete aves, dos gallos y cinco gallinas, de 20 semanas de edad, para ellos se utilizó una cedula de comportamiento nocturnas iniciando desde la puesta hasta la salida del sol. Los datos obtenidos son presentados en proporción de tiempo. La mayor proporción del tiempo (77%) nocturno estuvieron durmiendo, seguido del acicalamiento (8%), y con la misma proporción de durmiendo de pie y postrada despierta (4%). Se concluye que los datos obtenidos del grupo de aves presentan una mayor proporción de sueño de tipo postrada y de pie, seguida del acicalamiento, desde la puesta del sol hasta antes de la salida del siguiente día.
Palabras Clave: sueño cíclico, gallinas, habito.

Introducción

El antepasado de la gallina doméstica (*Gallus gallus domesticus*), un ave de color rojo de la selva (*Gallus gallus silvetre*) asiática, se perchaba en las ramas de los árboles para descansar o encontrar refugio durante la noche. En la actualidad las gallinas comerciales en instalaciones tecnificadas carecen de estas estructuras para descansar o sentirse seguras durante la noche debido al tipo de alojamiento en donde son criadas. Diversos estudios sobre el bienestar sugieren que la falta de perchas para descansar o sentirse seguras es una causa de "frustración" o "estrés" que puede repercutir negativamente sobre su comportamiento, salud, producción y el deterioro de su bienestar.[1] Las gallinas de postura comercial en México son alojadas en jaula, y en la mayoría de las granjas comerciales en piso, no cuentan con perchas o algún tipo de estructuras de ambiente enriquecido dentro las casetas[2].

En la naturaleza se puede observar que las aves silvestres[3] y las gallinas de postura[4, 5] perchan durante el día y la noche. En condiciones naturales las aves silvestres suelen seleccionar árboles altos[3, 6], mientras que las gallinas ponedoras eligen las perchas más altas disponible[7, 8], probablemente como un rasgo evolutivo para evitar la depredación y molestias durante el descanso.

El descanso se puede definir como un período prolongado de inactividad que se distingue claramente de otros comportamientos de mantenimiento, es decir, acicalamiento principalmente de sus plumas. Según criterios fisiológicos / etológicos, el descanso en las aves de corral se divide en varios subestados, por ejemplo, alerta-reposo, somnolencia, reposo y reposo paradójico en estudios electrofisiológicos[9]. En los estudios de comportamiento, se distinguen como máximo dos subestados, dormitando (durmiendo o descansando con la cabeza retraída o colgando) y durmiendo (con la cabeza metida debajo del ala)[4]. La importancia de conocer el comportamiento nocturno del *Gallus gallus domesticus* es primordial debido a la cantidad de horas luz que requiere el ave para crecer y desarrollarse durante la etapa de cría o levante (calendario decreciente de luz de 22 a 13 horas luz/día), y en la producción de huevo (calendario creciente de luz de 13 a 16 horas luz/día).

De aquí que el objetivo del presente trabajo fue investigar el comportamiento nocturno de un grupo de aves domésticas del género *Gallus* para conocer la proporción del tiempo que ocupan las aves en los distintos subestados nocturno.

Materiales y Métodos

El trabajo de campo se realizó en Ciudad Juárez, Chihuahua, México durante el mes de septiembre 2020. Se utilizarán siete aves del género *Gallus* "miniatura" de la variedad dorada cuello anaranjado y negro cobre de la raza Calzada holandesa, formados por 2 machos y 5 hembras de 20 semanas de edad con un peso promedio de 74±7g. La investigación tuvo un periodo de tres días consecutivos.

Las aves brotaron por incubación natural en el mismo sitio experimental; antes, durante y posterior a la investigación fueron alojadas en la misma habitación que les servía de refugio durante la noche; durante el día era abierta la puerta para que pudieran salir a realizar sus actividades diurnas naturales como alimentarse, escarbar y beber agua, entre otras, por tal motivo no se requirió un periodo de adaptación y de conocimiento del lugar experimental por el ave. La habitación contaba con una percha que le servía al grupo de aves para descanso y refugio instintivo durante la noche.

Para evaluar el comportamiento nocturno se colocó una cámara wifi que contaba con luz infrarroja (Marca Swann) para hacer posible el monitoreo en la obscuridad total. La cámara contó con la aplicación SwannEye HD Pro, para su monitoreo a distancia. El monitoreo inicio 30 minutos antes de acceso del grupo de aves a la habitación y continuó durante toda la noche hasta 15 minutos después que las aves salían de la habitación al salir el sol. Durante el acceso a la habitación y la noche, se observó y se registró (imágenes y video) la actividad realizada por el grupo de aves, no por individuo, tomando el tiempo en minutos de cada actividad. Las variables de comportamiento evaluadas fueron: de pie despierta, postrada despierta, de pie durmiendo, postrada durmiendo, acicalándose de pie, y acicalándose postrada. Es importante mencionar que en el estudio se utilizó la palabra "durmiendo", indistintamente debido a que no se pudo medir o confirmar si las aves mostraban sueño fisiológico o simplemente comportamiento de reposo, debido a que el experimento es observacional.

Los datos de comportamiento fueron analizados usando una estadística descriptiva y expresado en porcentaje de conducta observada durante el tiempo en la noche.

Resultados

Con relación a el comportamiento nocturno que tiene las aves se observa que la proporción del tiempo durante la noche la ocupan en diferentes subestados, estos son presentado en la Figura 1. Se puede observar que la mayor actividad del ave fue postrada dormida y del acicalamiento de pie.

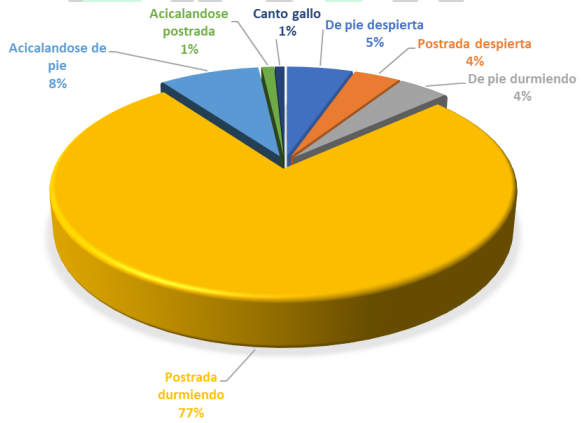


Figura 1. Proporción del tipo de comportamiento que tienen las aves del género *Gallus* miniatura durante la noche.

En la Figura 2 se observa las aves perchadas y algunas de los distintos subestados que se pudieron monitorear con la ayuda del infrarrojo de la video cámara de vigilancia instalada.

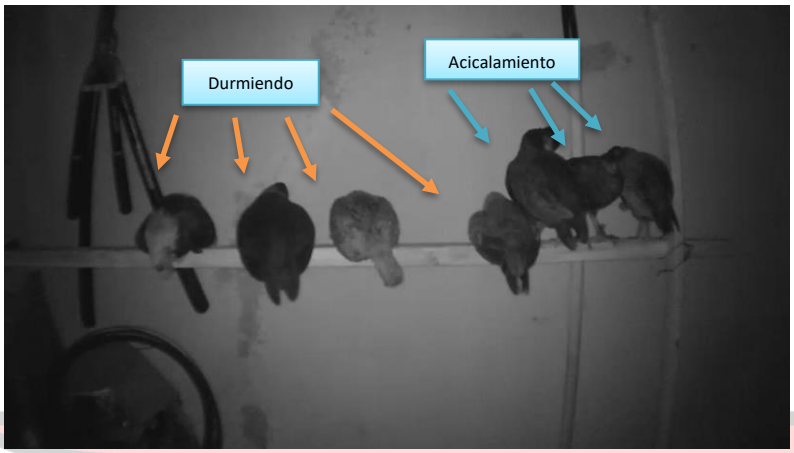


Figura 2. Comportamiento nocturno de un grupo de aves del género *Gallus* "miniatura" perchadas capturado por el infrarrojo de video cámara de vigilancia.

Discusión

En la naturaleza las aves buscan refugio en las alturas para protegerse de la depredación de los carnívoros nocturnos y de esta forma descansar o dormir de forma "segura" con menor probabilidad de ser depredadas[3], este instinto aún persiste en las gallinas domésticas de nuestros días y por ello tiene el habitó de perchar durante la noche para mantenerse "seguras"[4, 5] al seleccionar la percha o rama más alta. Lo anterior fue observado ya que las pollas percharon y se agruparon para descansar y comportarse de manera natural durante las noches. Se observo que las pollas y pollos no solamente descansaron, tuvieron otras actividades como su acicalamiento, es decir, repararon y quitaron plumas que podrían estar dañadas para ser reemplazadas por las "nuevas" de acuerdo con su edad fisiológica, he incluso mostraron alternándose entre dormir, acicalarse, y postradas despiertas. Se observaron también que las aves permanecieron en alerta de acuerdo con lo mencionado por Nelini[9] quienes, dividido los estados de comportamiento de las aves en dos subestados, dormitando (durmiendo o descansando con la cabeza retraída o colgando) y durmiendo (con la cabeza metida debajo del ala)[4, 10].

Se concluye que el comportamiento de las aves del género *Gallus* miniatura durante la noche es variado y más del 77% de ese tiempo nocturno tiene duermen y se podría catalogarse como un "sueño" profundo ya que se encuentran postradas.

Referencias

1. Olsson, I. A. S., Keeling, L. J. Night-time roosting in laying hens and the effect of thwarting access to perches. Applied Animal Behaviour Science 2000; 68, 243–256. doi:10.1016/S0168-1591(00)00097-6.
2. Ohara, A., Oyakawa, C., Yoshihara, Y., Ninomiya, S., Sato, S. Effect of environmental enrichment on the behavior and welfare of Japanese broilers at a commercial farm. The Journal of Poultry Science 2015; 52, 323–330. doi:10.2141/jpsa.0150034.
3. Collias, N. E., Collias, E. C. (1967). A field study of red jungle fowl in North-Central India. The Condor 69, 360–386. doi:10.2307/1366199.
4. Blokhuis, H. J. (1984). Rest in poultry. Applied Animal Behaviour Science 12, 289–303. doi:10.1016/0168-1591(84)90121-7.
5. Cordiner, L. S., Savory, C. J. (2001). Use of perches and nestboxes by laying hens in relation to social status, based on examination of consistency of ranking orders and frequency of interaction. Applied Animal Behaviour Science 71, 305–317. doi:10.1016/S0168-1591(00)00186-6.
6. Arshad, M. I., Zakaria, M. (2009). Roosting habits of red jungle fowl in Orchard Area. Pakistan Journal of Life and Social Sciences 7, 86–89.
7. Newberry, R. C., Estevez, I., Keeling, L. J. (2001). Group size and perching behaviour in young domestic Fowl. Applied Animal Behaviour Science 73, 117–129. doi:10.1016/S0168-1591(01)00135-6.
8. Brendler, C., Kipper, S., Schrader, L. (2014). Vigilance and roosting behaviour of laying hens on different perch heights. Applied Animal Behaviour Science 157, 93–99. doi:10.1016/j.applanim.2014.06.004.
9. Nelini, C., Bobbo, D., Mascetti, G. G. (2010). Local sleep: a spatial learning task enhances sleep in the right hemisphere of domestic chicks (Gallus gallus). Experimental Brain Research 205: 195–204.
10. Yngvesson, J., Wedina, M., Gunnarssona, S., Jönssonb, L., Blokhuis, H., Wallenbecka, A. (2017). Let me sleep! Welfare of broilers (Gallus gallus domesticus) with disrupted resting behaviour. Acta Agriculturae Scandinavica 67, 123–133. https://doi.org/10.1080/09064702.2018.1485729.

LA INMUNIDAD PASIVA ORAL CON UNA SUSPENSIÓN DE IgYs *Eimeria* SP-ESPECÍFICAS EXHIBE PROTECCIÓN TERAPÉUTICA EFICAZ EN UNA INFECCIÓN SEVERA CON OOQUISTES DE *E. tenella*

Marco Antonio Juárez-Estrada*[1, 2], Guillermo Tellez-Isaias[3], Feliz D Sánchez-Godoy[1], Rogelio Antonio Alonso-Morales[2]
[1]Departamento de Medicina y Zootecnia de Aves. F.M.V.Z.- U.N.A.M. [2]Departamento de Genética y Bioestadística. F.M.V.Z.- U.N.A.M. [3]Department of Poultry Science, University of Arkansas, U.S.A.
*britoco@unam.mx

Resumen
La coccidiosis aviar produce grandes pérdidas económicas en la industria avícola mundial debido a su ubicuidad y resiliencia. Dentro de la protección inmune a este padecimiento se ha descrito durante mucho tiempo un papel clave para las células T, sin embargo, recientemente se ha revalorado el papel que muestran los anticuerpos en la generación integral de esta inmuno-protección. Se evalúo un esquema de acción terapéutica por medio de inmunidad pasiva al administrar vía oral dos concentraciones diferentes de Inmunoglobulinas Y (IgYs) de yemas de aves inmunizadas contra las tres especies más comunes de *Eimeria* sp., en pollo de engorda a pollitos SPF Leghorn (60 y 120 mg ave/día/periodo de prepatencia) durante una infección superlativa con ooquistes de una cepa patógena de *E. tenella*. La evaluación del peso corporal, viabilidad, conversión alimenticia, cantidad de ooquistes eliminados y las lesiones observadas en las aves suplementadas con la dosis más alta de IgY´s (120 mg), mostró un efecto protector significativo. El grupo tratado con menor dosis (60 mg/ave/día), aunque mostró efectos perjudicialesindistinguibles con los exhibidos por el grupo testigo no tratado-infectado, no mostró ninguna mortalidad. El grupo testigo sin tratar y desafiado mostro la mayor cantidad de efectos negativos, el 25% de estas aves murieron durante el trascurso de la infección (prepatencia). Las IgY´s utilizadas de manera terapéutica favorecen la integridad del tejido y evitan trastornos de disbiosis. Se requiere saber cuáles son los componentes del parásito que están siendo reconocidos por los anticuerpos antígeno- específicos contenidos en la suspensión de la yema evaluada, lo cual contribuiría a la identificación y selección de epítopos inmunogénicos e inmunoprotectores que contribuyan a la generación de una vacuna de tipo recombinante o de ADN.
Palabras Clave: *Eimeria acervulina*, Inmunidad pasiva, Inmunoglobulina Y, Índice anticoccidial, Profilaxis.

Abstract
Avian coccidiosis is the first to most economically important parasite disease affecting poultry industry worldwide. A key role for T cells into the immune protection in avian coccidiosis has been described for a long time. However, the role for specific-antibodies against *Eimeria* sp into the effective immunoprotection has been lately revalued. A therapeutic protection schedule using passive immunity was evaluated. Two different doses of egg yolk *Eimeria* sp-specific immunoglobulins were orally supplemented to several SPF Leghorn chicks (60 or 120 mg bird/day/prepatency period) infected with a crowded dose of *E. tenella* oocysts. Body weight gain, viability, feed conversion, oocyst shedding and lesion score grading in birds supplemented with the highest dose of IgY's (120 mg), showed a significant protective effect against the severe infection produced by the crowded dose of *E. tenella*. Although the group treated with the lowest dose of IgY's (60 mg/bird/day) showed detrimental effects indistinguishable from those exhibited by the untreated-infected control group, this supplemented group did not show any mortality. Instead, the untreated-challenged group showed the most severe negative effects during the infection period, 25% of these birds died during this prepatent period. IgY's used therapeutically promotes intestinal tissue integrity and prevent dysbiosis disorders. The knowledge about which are the parasite specific-components that are being recognized by these antigen-specific antibodies could contribute to design a genetic engineered vaccine against *Eimeria* sp.
Key Words: *Eimeria acervulina*, passive immunity, immunoglobulin Y, anticoccidial index, prophylaxis.

Introducción
La coccidiosis aviar es la enfermedad parasitaria más importante en la industria avícola de México y el mundo, ocasiona daños económicos importantes. Es causada por un protozoario intracelular miembro del *phyllum* Apicomplexa que incluye a siete diferentes especies del género *Eimeria*, la más común en México es *E. tenella*. Los signos clínicos son diarreas sanguinolentas, pérdida de peso y mortalidad. Para su control es común el empleo de fármacos anticoccidianos de tipo

químico e ionóforo, sin embargo, recientemente se ha observado el surgimiento de cepas resistentes a la mayor parte de estos anticoccidianos utilizados, como control alternativo a la enfermedad, se ha propuesto el uso de vacunas vivas, sin embargo, siempre existe el riesgo de un brote clínico de la enfermedad además de tener otras desventajas severas [1]. Las respuestas inmunológicas a este tipo de parásito involucran ambos tipos de inmunidad adaptativa de tipo específico, la celular y la humoral. Aunque dentro de esta protección se ha descrito un papel importante para las células T, actualmente se está revalorando significativamente el papel que tienen los anticuerpos en la inmuno- protección contra la coccidiosis aviar [1] [2] [3]. En estas investigaciones se han evaluado esquemas de inmunización pasiva de tipo profiláctica mediante la administración oral de IgYs provenientes de yemas de huevos de gallinas hiperinmunizadas oralmente (vía natural) con *Eimeria* sp., que han sido suministradas en el alimento [1] [2], sin embargo, las dosis de desafío evaluadas en estos esquemas de protección han sido menores a una dosis de saturación común (*crowded dose*) [1] [2], además, no se ha evaluado la acción de este tipo de inmunidad en un esquema de protección de tipo terapéutico durante una infección activa con una dosis de sobresaturación. Es importante conocer el grado de inmunoprotección que se genera cuando se administran diferentes dosis de una suspensión de yema hiperinmune a *Eimeria* sp a aves SPF infectadas con una dosis de sobresaturación de una cepa patógena de *E. tenella*.

Materiales y Métodos

Se asignaron 4 grupos experimentales con 4 aves c/u (Pollos Leghorn SPF de 86 días de edad, peso equivalente a pollos de engorda de tres semanas de edad). Los grupos de tratamiento tuvieron cuatro réplicas alojadas en diferentes jaulas de tipo individual. Se obtuvo por donación altruista una suspensión comercial de Inmunoglobulinas purificadas a partir de yemas de aves ponedoras que previamente habían sido hiperinmunizadas contra *Eimeria acervulina*, *E. maxima* y *E. tenella* (Al menos tres-cuatro inmunizaciones previas con 6,000 ooquistes esporulados c/una con intervalos de inmunización de 15 días). La concentración de proteína total en la suspensión empleada se cuantifico por medio del método comercial de Bradford (Bio-Rad Laboratories Inc. Hercules, CA. USA) en el laboratorio de Genética Molecular de la F.M.V.Z-U.N.A.M.

Los grupos experimentales fueron el grupo testigo negativo (No tratado, no desafiado), grupo testigo positivo (No tratado, desafiado), un grupo que recibió oralmente 2 mL de la suspensión comercial de IgYs de yema (60 mg de proteína total) y un grupo que recibió 4 mL de la suspensión de IgYs de yema (120 mg de proteína). La suspensión de IgYs de yema fue administrada diariamente a cada ave per os directo a ingluvies, por 7 días, a partir del día 0 de la infección superlativa con los ooquistes de la cepa patógena de *E. tenella*, esta cepa fue aislada tres meses antes a partir de un caso clínico de coccidiosis cecal en pollos de engorda provenientes de una granja del estado de Querétaro. La dosis de desafío fue de 3 x 10^4 ooquistes esporulados por ave. Previo al inicio de la infección y a los siete días después del periodo de prepatencia, las aves fueron pesadas individualmente, obteniendo la ganancia porcentual relativa del peso corporal posdesafío. Diariamente se registró el consumo de alimento de cada jaula individual, con esta información una semana después del desafío se obtuvo la conversión alimenticia g:g. Siete días posteriores al desafío se cuantificó la cantidad de ooquistes por gramo de heces (OPGH) y la cantidad de ooquistes por gramo de tejido cecal (OPGTC) [4]. A los 93 días de edad todas las aves fueron sangradas a partir de la vena *cutanea ulnaris* con la finalidad de evaluar su hematocrito y después fueron eutanizadas (NOM-033-SAG/ZOO-2014).

La calificación de lesiones producidas por la infección con *E. tenella* se efectúo en ambos sacos ciegos de acuerdo con la escala de Johnson y Reid (1970). Se tomaron muestras de tejido cecal fijadas con formaldehido al 10% para su procesamiento histológico y estudio microscópico posterior. Las variables paramétricas se sujetaron a un ANDEVA entre los cuatro diferentes grupos, cuando se determinó una diferencia entre las medias, estas se discriminaron con una análisis *pos hoc* utilizando la prueba de Tukey con una significancia de $P<0.05$. La mortalidad registrada durante el evento experimental principal (7 días prepatencia) se analizó a través de la prueba Xi^2 a una significancia de $P<0.05$.

Resultados

En el cuadro 1 se muestran los resultados de las principales variables de respuesta fisiológica de las aves de cada uno de los cuatro grupos de tratamiento después del desafío con 30,000 ooquistes esporulados de *E. tenella* por ave.

Cuadro 1. Comparación de la respuesta fisiológica de aves Leghorn SPF que recibieron oralmente una suspensión de IgYs de yema hiperinmune contra *Eimeria* sp.

Grupos experimentales	Peso post- desafío (gramos)	Conversión alimenticia (7 días post-des. g:g)	Hematocrito (porcentaje)
Testigo negativo	963 ± 7.51[1] A[2]	6.03 ± 0.13[1] B[2]	30.8 ± 1.45 A[2]
Susp. IgYs Yema 120 mg/ave	918 ± 13.1 A	6.73 ± 0.31 B	34.9 ± 3.7 A
Susp. Yema 60 mg/ave	860 ± 90.0 B	48.44 ± 35.7 A	27.7 ± 7.1 B
Testigo positivo	891 ± 60.0 AB	23.56 ± 18.4 AB	27.4 ± 4.6 B

[1]Promedio por grupo ± desviación estándar. [2]Literal mayúscula diferente después de cada media ± desviación estándar por grupo dentro de cada columna indica diferencia significativa (P<0.05)

En el cuadro 2 se observan los resultados de las variables patológicas de las aves en cada uno de los cuatro grupos de tratamiento siete días después del desafío con una dosis superlativa de ooquistes de una cepa patógena de *E. tenella*.

Cuadro 2. Calificación de lesiones macroscópicas producidas por la infección con *E. tenella*, cantidad de ooquistes producidos y mortalidad de las aves Leghorn SPF que recibieron *per os* una suspensión de IgYs de yema de huevos provenientes de aves hiperinmunizadas contra *Eimeria* sp.

Grupos experimentales	Calificación de lesiones[3]	Ooquistes en heces (g)	Ooquistes en tejido cecal (g)	Viabilidad (%)
Testigo negativo	0.0 ± 0.0[1] C[2]	0.00[1] C[2]	0.00[1] C[2]	100.00 A[2]
Susp. IgYs Yema 120 mg/ave	2.5 ± 0.67 B	0.11×10^6 B	1.22×10^6 B	100.00 A
Susp. Yema 60 mg/ave	3.25 ± 0.86 AB	0.31×10^6 A	2.13×10^6 A	100.00 A
Testigo positivo	3.40 ± 0.79 A	0.39×10^6 A	0.92×10^6 A	75.0 B

[1]Promedio por grupo ± desviación estándar. [2]Literal mayúscula diferente indicada después de cada media ± desviación estándar por grupo dentro de cada columna indica diferencia significativa (P<0.05). [3]Calificación efectuada con base a la escala propuesta por Johnson y Reed en 1970.

El índice anticoccidial (IAC) (McManus et al., 1968), en el grupo testigo negativo fue de 200, el grupo que recibió las 120 mg de IgYs de yema hiperinmunes a *Eimeria* sp mostró un IAC de 155, el grupo suplementado con 120 mg de IgYs de yema hiperinmunes a *Eimeria* sp exhibió un IAC de 55 y el IAC en el grupo testigo positivo fue de 47. Las lesiones histológicas en el grupo testigo positivo y el grupo que recibió profilácticamente la suspensión de yema hiperinmune a una dosis de 60 mg/diarios, mostraron destrucción masiva del epitelio, mucosa, submucosa, muscular y serosa cecal caracterizadas por inflamación, necrosis, hemorragias, edema, atrofia de vellosidades, aumento de fases multiplicativas del protozoario y fibrosis; las cuales fueron mayores (P<0.05) al grupo que recibió profilácticamente *per os* la suspensión de yema con IgY´s a una dosis de 120 mg/diarios. Las aves del grupo testigo negativo no mostraron lesiones.

Discusión

La evaluación del peso corporal, viabilidad, conversión alimenticia, cantidad de ooquistes eliminados y las lesiones observadas en las aves suplementadas con la dosis más alta de yema hiperinmune (120 mg), determinan la presencia de un efecto protector, esto al disminuir significativamente la replicación del protozoario y conservar así la integridad intestinal, el equilibrio de la microbiota al mismo tiempo que se evita la mortalidad de las aves. El grupo tratado con menor dosis de IgYs durante los 7 días de tratamiento (60 mg de proteína/ave), aunque mostró efectos detrimentales similares al grupo testigo positivo, no presento mortalidad. La muerte de las aves del grupo testigo positivo, infectadas con una alta dosis de *E. tenella* se puede atribuir al efecto de la translocación bacteriana severa ocasionada por la destrucción masiva del tejido cecal; es factible que las inmunoglobulinas presentes provenientes de la yema de las aves inmunizadas contra *Eimeria* sp., pudieran impedir de alguna manera aún no identificada o determinada la invasión oportunista de los microorganismos de la biota intestinal o bien del efecto nocivo de sus toxinas sobre las células de la mucosa cecal agraviada por la infección con los ooquistes de la cepa de *E. tenella*. De hecho, con base a los resultados observados entre las dos diferentes dosis de IgYs evaluadas se observa un probable efecto dosis-dependiente. Lo cual constituye un punto de arranque de especulación razonada para que en el futuro se efectúen estudios más precisos sobre los mecanismos exactos de acción de estas inmunoglobulinas específicas en la luz intestinal y el tipo de prevención que ejercen sobre los

efectos patógenos que muestra una infección superlativa producida con la cantidad de ooquistes de *Eimeria* sp empleados aquí. El hematocrito corporal registrado al día siete del periodo de prepatencia en los grupos suplementados oralmente con IgYs específicas es un indicativo del grado de destrucción real del tejido cecal y la magnitud de las hemorragias provocadas por la infección de los enterocitos. Las inmunoglobulinas orales (IgY´s) específicas utilizadas de forma terapéutica favorecen de alguna forma aún no determinada (mecanismo a estudiar) la conservación de la integridad del tejido, lo cual permitió en este caso la disminución significativa de la severidad de hemorragias en las aves de los grupos que recibieron la mayor dosis de la suspensión de IgYs de las yemas hiperinmunes del producto comercial evaluado. El diferencial en cantidad de ooquistes contados en tejido cecal con relación a los OPGH observados en los grupos suplementados con las IgYs de la suspensión de yema hiperinmune a *Eimeria* sp, indica una posible acción efectiva del GALT de manera similar al de una respuesta inmune de tipo secundaria. Es probable que las inmunoglobulinas contenidas en la suspensión de yema hiperinmune reconozcan antígenos vitales utilizados para la adhesión, invasión y/o replicación del protozoario, estimulando la acción de las células efectoras del huésped (macrófagos, células dendríticas, linfocitos T CD 8+, células NK, linfocitos B2, etc.), de manera que, aun cuando los protozoarios invaden las células epiteliales intestinales, las células del GALT inhiben su posterior multiplicación masiva con la consecuente destrucción severa del tejido cecal debida a la desintegración de los trofozoítos y esquizontes detectados y las células infectadas a través del más evidente mecanismo inmune sugerido hasta hoy en día para el control efectivo de coccidia aviar como es la citotoxicidad celular dependiente de anticuerpos (ADCC). El evento de protección observado aquí, da la pauta para efectuar futuros estudios que contemplen verificar la neutralización específica por parte de estas inmunoglobulinas de estructuras del parásito utilizadas para su invasión a los enterocitos (neutralización de los componentes del complejo de unión de membrana [*membrane-juction complex*], proteínas de las micronemas, proteínas de las roptrias, gránulos densos, antígenos de superficie de la familia genética GPI-SAG, e inhibición en la interacción AMA1-RON2, complejo de unión descrito para la invasión inicial de los enterocitos). Una línea de investigación a explorar es dilucidar cuales son los componentes del parásito que están siendo reconocidos por las IgYs antígeno- específicos de la suspensión de la yema hiperinmune, lo cual ayudaría a la identificación y selección de epítopos inmunogénicos e inmunoprotectores a través de metodologías selectivas que utilicen técnicas de inmunología molecular reversa como *Phage display* y ELI (*Expression Library Immunization*) las cuales ayudarían a determinar los genes del protozoario que codifican estos epítopos que son clave para la futura generación de vacunas recombinantes

Conclusión

La suspensión de IgYs de yema hiperinmunes a *Eimeria* sp suministrada de manera terapéutica a una dosis de 120 mg/diarios por ave durante el periodo de prepatencia, protege contra los efectos adversos de una infección superlativa con una cepa patógena de *E. tenella*, dosis infectante que en aves susceptibles produce hasta 25% de mortalidad. Con base a las dos dosis de IgYs de yema hiperinmune a *Eimeria* sp estudiadas se concluye que debe existir presente una cantidad mínima de anticuerpos específicos en la luz intestinal para limitar eficazmente la infección por *Eimeria tenella*.

Agradecimiento

Investigación realizada gracias al programa UNAM-DGAPA-PAPIIT IN 217022 “Estrategias alternativas para la profilaxis de la coccidiosis aviar en México”

Referencias

[1] Lee SH, Lillehoj HS, Park DW, Jang SI, Morales A, García D, et al. Protective effect of hyperimmune egg yolk IgY antibodies against Eimeria tenella and Eimeria maxima infections. Veterinary Parasitology. 2009 Jul;163(1–2):123–6.

[2] Xu JJ, Ren CZ, Wang SS, Liu DD, Cao LQ, Tao JP. Protection efficacy of multivalent egg yolk immunoglobulin against Eimeria tenella infection in chickens. Iranian J Parasitol. 2013;8,:449-458.

[3] Juárez-Estrada MA, Tellez-Isaias G, Sánchez-Godoy FD, Alonso-Morales RA. Immunotherapy With Egg Yolk Eimeria sp.-Specific Immunoglobulins in SPF Leghorn Chicks Elicits Successful Protection Against Eimeria tenella Infection. Front Vet Sci. 2021 Nov 11;8:758379.

[4] Juárez-Estrada MA, Gayosso-Vázquez A, Tellez-Isaias G, Alonso-Morales RA. Protective Immunity Induced by an Eimeria tenella Whole Sporozoite Vaccine Elicits Specific B-Cell Antigens. Animals. 2021 May 9;11(5):1344.

AVEM
Avi especialistas de México

UNA SUSPENSIÓN DE IgYs DE LA YEMA DE HUEVOS DE GALLINAS INMUNIZADAS CON ESPOROZOITOS DE *Eimeria tenella* RECONOCE DETERMINANTES ANTIGÉNICOS ESPECÍFICOS EN DOS FASES DEL CICLO DE VIDA DEL PARÁSITO

Marco Antonio Juárez-Estrada*[1, 2], Guillermo Tellez-Isaias[3], Feliz D Sánchez-Godoy[1], Rogelio Antonio Alonso-Morales[2]
[1]Departamento de Medicina y Zootecnia de Aves. F.M.V.Z.- U.N.A.M. [2]Departamento de Genética y Bioestadística. F.M.V.Z.- U.N.A.M. [3]Department of Poultry Science, University of Arkansas, U.S.A.
*britoco@unam.mx

Resumen

Con la finalidad de evaluar la cinética de la respuesta inmune humoral adaptativa algunos ejemplares de pollonas SPF *Leghorn White* fueron inmunizadas subcutáneamente con esporozoitos completos inactivados de *E. tenella* adyuvados en nanopartículas y aceite vegetal, posterior a obtener un título sérico alto *versus* las dos fases asexuales zoito de *E. tenella* y una meseta de anticuerpos que indicaba maduración por afinidad, se obtuvieron y purificaron las IgY policlonales de la yema de estas aves inmunizadas. La suspensión de anticuerpos experimental se evalúo comparativamente frente a una preparación comercial de anticuerpos multivalentes provenientes de gallinas inmunizadas con tres diferentes especies de *Eimeria*. Se determinó una mayor reactogenicidad de la suspensión de IgYs experimentales en comparación a las IgYs de la suspensión comercial. Las IgYs específicas *versus* el esporozoito de *E. tenella* reconocen epítopos tipo B inmunodominantes que fueron similares en ambas fases de vida del protozoario. Las IgYs experimentales son una herramienta útil para el estudio de epítopos con potencial inmunoprotector.

Palabras Clave: Coccidiosis aviar, Merozoitos de segunda generación, Inmunidad pasiva, *Western blot*, ELISA.

Abstract

Some SPF Leghorn pullets were subcutaneously immunized with an inactivated whole sporozoite *E. tenella* vaccine. The dynamic of the adaptive humoral immune response was evaluated. A higher titer serum toward two life cycle stages of *E. tenella* were observed. After a specific-antibody plateau, egg yolk sporozoite *E. tenella*-specific immunoglobulins were obtained and purified. This polyclonal IgYs suspension was comparatively evaluated regard to egg yolk *Eimeria* sp-specific immunoglobulins commercially available. Egg yolk sporozoite *E. tenella*-specific-IgYs trigger greater W blot and ELISA reactivity, whereas the egg yolk *Eimeria* sp.-specific immunoglobulins from a commercial product exhibited less overall reactogenicity. A Western blot trial showed a cross-reactivity of egg yolk sporozoite *E. tenella*-specific IgYs toward similar antigenic determinants (B cell epitopes) on both asexual zoite stages of *E. tenella.* These IgYs are useful tool for future studies about *Eimeria* sp immunoprotective epitopes.

Key Words: avian coccidiosis, 2nd generation merozoite, passive immunity, Western blot, ELISA.

Introducción

La coccidiosis aviar es la enfermedad parasitaria más importante de la industria avícola a nivel Mundial. Es causada por un protozoario del *phyllum* Apicomplexa que incluye diferentes especies del género *Eimeria*, la especie más común en México es *E. tenella*. Las medidas actuales de prevención se basan en agregar fármacos anticoccidianos al alimento del ave y la administración oral de vacunas de ooquistes esporulados viables (salvajes y atenuadas), Sin embargo, la creciente aparición de resistencia a los fármacos anticoccidianos tipo antibiótico-ionóforo poliéster, aunado al mayor costo de fabricación de vacunas vivas y aspectos de bioética debido a que se requiere de aves vivas para la replicación de los ooquistes vacunales ha conducido a la creación y uso de nuevas tecnologías destinadas a asegurar la salud animal y la eficiencia en la producción [1]. La respuesta inmunológica a este tipo de protozoario es compleja e involucra ambos tipos de inmunidad específica. Dentro de la protección se había descrito durante mucho tiempo un papel importante para las células T, sin embargo, en los últimos dos lustros se ha revalorado significativamente la magnitud de protección que muestran los anticuerpos específicos por sí mismos contra la coccidiosis aviar, esto a través de la administración oral de suspensiones de yemas hiperinmunes a *Eimeria* sp [1] [2] [3]. Los esquemas de inmunización para la producción de estas IgYs *vs Eimeria* sp-específicas en yema consideran la administración oral de ooquistes vivos, sin embargo, actualmente aún no se ha determinado cuáles son los principales antígenos tipo B del parásito involucrados en este tipo de protección. Es importante efectuar el análisis del tipo de antígenos involucrados en la protección inmune pasiva cuando se usa como inoculo parenteral la primer fase infectante del parásito (esporozoito) con la finalidad de cortar la infestación desde el

primer paso de la infección. Se requiere conocer las particularidades sobre la deposición de IgYs *versus Eimeria* sp de la circulación sistémica al saco vitelino de las gallinas inmunizadas por ambas vías.

Materiales y Métodos

Las inmunoglobulinas policlonales de yema de huevo contra el esporozoito (Sz) completo inactivado de *E. tenella* se obtuvieron de 4 pollonas SPF *Leghorn White* de 12 semanas de edad. Las aves fueron inmunizadas vía subcutánea con una vacuna formulada con 5.3×10^6 esporozoitos íntegros de *E. tenella* que fueron mezclados a bajas rpm con un adyuvante a base de nanopartículas y aceite vegetal (IMS 1313 N VG PR Seppic Montanide™, Francia) que se originalmente se denominó como vacuna EtSz-IMS1313 [4]. Las aves recibieron tres refuerzos inmunológicos (con intervalos de 2 semanas c/uno). Las pollonas se alojaron en jaulas con piso elevado de malla de alambre dentro de una unidad de aislamiento libre de coccidias. Las aves SPF *Leghorn White* del control negativo (n = 2) no inmunizadas se mantuvieron en las mismas condiciones en una unidad adyacente, únicamente en cada fecha de inmunización se les inyectó subcutáneamente (s.c.) PBS estéril. Los antisueros de referencia contra el Sz de *E. tenella* se obtuvieron de sangre de la vena *cutanea ulnaris* de las aves inmunizadas una semana después del último refuerzo inmunológico. El suero se almacenó a -20 °C hasta su uso. Para determinar la persistencia de la deposición en yema de IgYs específicas *vs* el Sz de E. tenella, después de un largo periodo de 11 meses posteriores a la última inmunización algunos huevos de las gallinas SPF Leghorn inmunizadas fueron recolectados aleatoriamente. Las IgY policlonales de yema de huevo contra los esporozoitos completos de *E. tenella* se aislaron de acuerdo con el método de solución acuosa [3]. Como control de inmunoglobulinas positivas a *Eimeria* sp dentro de estas IgY multivalentes reactivas específicamente a *E. tenella* se utilizó una suspensión comercial de inmunoglobulinas IgY de yema de huevo (Supracox®, SC; Investigación Aplicada, S.A, de C.V. IASA, Puebla, México). El aislamiento, purificación y preparación de cada sobrenadante (SN) de antígenos (Ag) de los dos estadios zoito asexuales de *E. tenella* (esporozoítos [Sz] y merozoitos de 2ª generación [Mz]) se efectuaron de acuerdo con lo descrito por Juárez-Estrada et al [3]. La reactogenicidad del suero anti-esporozoito de *E. tenella*, de las IgYs de yema de huevo contra los Sz de *E. tenella* y de las IgYs del producto comercial SC fue determinada contra ambos antígenos de prueba (Sz y Mz) por medio de la técnica de ELISA y *Western blot* de acuerdo a lo descrito previamente por Juárez-Estrada et al [3].

Resultados

La respuesta de anticuerpos post-inmunización (PI) con la vacuna EtSz-IMS1313 hacia ambos estadios de *E. tenella* fue similar (aunque esta fue más afín hacia los Szs, se observa mayor evidencia en la dilución 1:100 del antisuero), se observó un pico sérico a las 2 semanas PI, después se observa una fase de *plateau* que dura hasta la semana 6-7 PI (Figura 1).

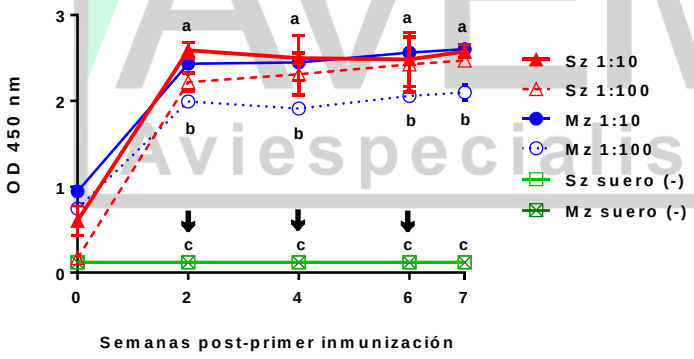


Figura 1. Cinética de los anticuerpos versus el esporozoito y merozoito de 2ª generación de *E. tenella* después de la inmunización con la vacuna EtSz IMS-1313.

En la prueba de ELISA las IgYs de yema anti-esporozoito de *E. tenella* mostraron mayor reactividad ($p<0.05$) que la mostrada por el producto SC. La reactogenicidad de las IgY experimentales anti-esporozoito fue mayor hacia el Sz (2.87

O.D.) que hacia el Mz (2.68 O.D.). El SC mostró menor nivel de reactividad, hacia Mz fue de 0.28 O.D., y hacia el Sz de 0.24 O.D. (Figura 2).

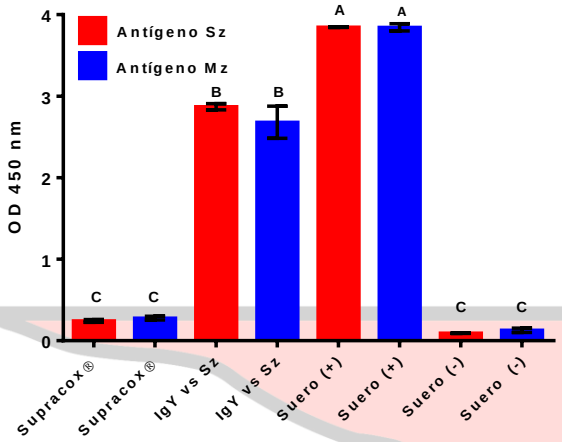


Figura 2. Reactogenicidad de los anticuerpos séricos y de la yema *versus* el esporozoito de *E. tenella*, y de los anticuerpos contra *Eimeria* sp (Supracox®) evaluados contra las dos fases asexuales zoito de E. tenella.

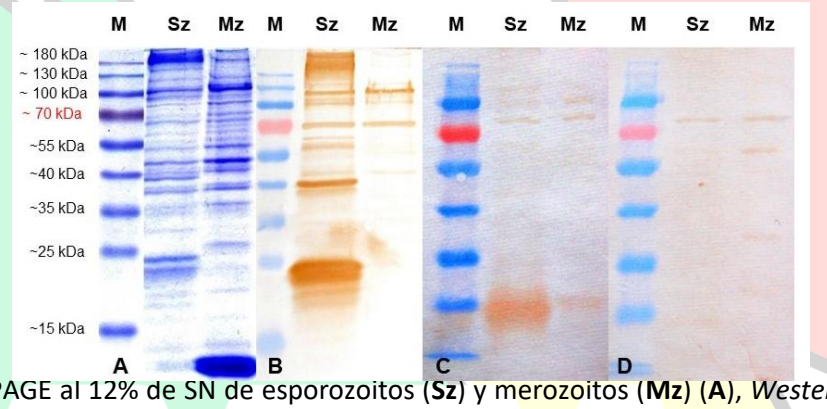


Figura 3. SDS-PAGE al 12% de SN de esporozoitos (**Sz**) y merozoitos (**Mz**) (**A**), *Western blot* de suero anti-Sz de *E. tenella* (1:2000) (**B**), reconocimiento antigénico de IgYs de yema de gallinas inmunizadas contra el Sz de *E. tenella* (1:100) (**C**), reactividad de Supracox® sobre antígenos del Sz y del Mz de 2ª generación de *E. tenella* (1:100) (**D**). **M**arcador.

En *W blot* se logra observar el reconocimiento de una pequeña fracción de las proteínas presentes en el SDS-PAGE al 12%, la reacción más fuerte de las IgYs experimentales *versus* el Sz de *E. tenella* es con el antígenos del Sz, se identificaron bandas únicas a ≈120, ≈105, ≈82, ≈64, ≈47 y ≈17.5 kDa, así como una banda amplia difusa entre ≈22 y ≈27 kDa, dos bandas apenas visibles de ≈34 y ≈27. Las IgYs reaccionaron con dos antígenos comunes a ≈105 y ≈82 kDa. El producto SC reaccionó más ampliamente con el Mz, detectó bandas a ≈82, ≈60, ≈54, ≈40, ≈38, ≈27, ≈24, ≈20, ≈17.5 y ≈13 kDa. El SC en el Sz reconoció una banda clara de ≈82 kDa, y 4 apenas visibles de ≈60, ≈34, ≈24 y ≈17 kDa (Figura 3).

Discusión

En ambos estadios zoito asexual del parásito analizados con *W blot* se observan varias bandas que fueron reconocidas por el antisuero de las pollonas inmunizadas con la vacuna EtSz-IMS1313. Algunos de estos polipéptidos coinciden con los identificados con las inmunoglobulinas de la yema de las mismas aves, aun tomando en consideración el largo periodo transcurrido entre el muestreo de las yemas y la última inmunización previa ocurrida 11 meses antes. Si bien las IgYs experimentales *versus* el Sz de *E. tenella* mostraron menor reactogenicidad que las mismas IgYs séricas 11 meses antes (1:2000), evidencian más bandas dimensionales en ambos antígenos (Sz y Mz) que las identificadas con las IgYs de la preparación comercial (Supracox®). De hecho, la reactogenicidad de la preparación SC hacia ambos antígenos zoito asexuales de *E. tenella* en ELISA fue menor en comparación con la reactividad mostrada por las IgYs experimentales de yema anti-Sz de *E. tenella*. El SC mostró una aparente menor reactividad general en ELISA y *W blot*; sin embargo,

independiente a esto, se ha reportado previamente que estas mismas IgY del producto SC en suspensión acuosa a una dosis oral de 120 mg/dia/ave durante el periodo de prepatencia del parásito protegen exitosamente contra una infección de sobresaturación de *E. tenella* [3], lo que determina una excelente pauta para verificar en un futuro cercano el grado de protección inmune pasiva que mostrarían hipotéticamente las IgYs de yema de huevo anti-Sz de *E. tenella* utilizando un modelo similar de estudio. Aunque las gallinas SPF inmunizadas por vía s.c. con Szs intactos generan anticuerpos que aparentemente reconocen los mismos antígenos específicos en cada etapa del parásito evaluada, estos anticuerpos mostraron una preferencia significativa hacia el Sz. En una observación experimental, las aves Leghorn SPF inmunizadas con la vacuna EtSz-IMS1313 aparentemente muestran un mayor nivel de respuesta humoral (Sz y Mz= ≈2.6 OD) que pollonas híbridas inmunizadas por vía natural (5x 10^6 ooq/esp. de Et oral) (Sz y Mz= ≈1.9 OD) bajo condiciones similares de estudio [3]. Esto coincide con estudios previos que han mostrado que los Szs inoculados por vía parenteral son más inmunogénicos por esta vía que cuando las aves son inmunizadas por vía natural (oralmente) con ooquistes. La vía parenteral de inmunización se presenta como una forma viable de obtener una gran cantidad de anticuerpos específicos circulantes y consecuentemente incrementar así los títulos IgY específicos de *Eimeria* depositados en la yema [3], más aún cuando la persistencia de deposición de estas IgYs en la yema después de la última inmunización fue muy amplia como lo pudimos observar aquí (Figura 2). Una perspectiva de estudio futura es verificar si la complementación de ambas vías de inoculación oral y parenteral muestran una mayor eficiencia en la deposición de IgYs especificas a *Eimeria* sp en la yema del huevo. Adicionalmente, la identificación molecular específica con MALDI-TOF y MS de los componentes que están siendo reconocidos por los anticuerpos anti-esporozoito de *E. tenella* es una propuesta bastante plausible. La identificación precisa de proteínas inmunogénicas-inmunodominantes utilizando los anticuerpos de la yema contra *Eimeria* sp aviar permitirá además de la aplicación de la tecnología de inmunización pasiva el uso de los genes del protozoario que las codifican facilitando así la generación de inmunógenos recombinantes obtenidos a través de ingeniería genética. Se requiere efectuar estudios adicionales sobre estrategias de inmunización que utilicen antígenos protectores definidos de *Eimeria* sp (nativos o recombinantes) inyectados por vía parenteral para la óptima generación de IgYs específicas a *Eimeria* sp en la yema de huevo de las aves inmunizadas.

Conclusión

Los anticuerpos IgY purificados a partir de la yema de huevos de gallinas SPF *Leghorn White* recolectados 11 meses después de su inmunización con esporozoitos completos inactivados de *E. tenella* son capaces de reconocer con amplia persistencia antígenos B específicos en esporozoitos y merozoitos de segunda generación de *E. tenella.*

Perspectiva

La obtención de antisuero e inmunoglobulinas específicas de yema por medio de la inmunización con esporozoitos de *E. tenella* en aves SPF que identifican antígenos inmunodominantes específicos del esporozoito proporciona una herramienta útil para la identificación de epítopos inmunogénicos con potencial inmunoprotector activo y pasivo.

Agradecimiento

Investigación realizada gracias al programa UNAM-DGAPA-PAPIIT IN 217022 “Estrategias alternativas para la profilaxis de la coccidiosis aviar en México”

Referencias

[1] Lee SH, Lillehoj HS, Park DW, Jang SI, Morales A, García D, et al. Protective effect of hyperimmune egg yolk IgY antibodies against Eimeria tenella and Eimeria maxima infections. Veterinary Parasitology. 2009 Jul;163(1–2):123–6.

[2] Xu JJ, Ren CZ, Wang SS, Liu DD, Cao LQ, Tao JP. Protection efficacy of multivalent egg yolk immunoglobulin against Eimeria tenella infection in chickens. Iranian J Parasitol. 2013;8,:449-458.

[3] Juárez-Estrada MA, Tellez-Isaias G, Sánchez-Godoy FD, Alonso-Morales RA. Immunotherapy With Egg Yolk Eimeria sp.-Specific Immunoglobulins in SPF Leghorn Chicks Elicits Successful Protection Against Eimeria tenella Infection. Front Vet Sci. 2021 Nov 11;8:758379.

[4] Juárez-Estrada MA, Gayosso-Vázquez A, Tellez-Isaias G, Alonso-Morales RA. Protective Immunity Induced by an Eimeria tenella Whole Sporozoite Vaccine Elicits Specific B-Cell Antigens. Animals. 2021 May 9;11(5):1344.

EFECTO DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS DE LOMBRICOMPOSTA ADICIONADAS EN DIETAS DE POLLOS DE ENGORDA USANDO DOS REGÍMENES ALIMENTICIOS

Yair Roman López García*[1], Sergio Gómez Rosales[2], María de Lourdes Angeles[2], Rubén Merino Guzmán[3], Guillermo Téllez Isaías[4].
[1] Universidad Nacional Autónoma de México, FES-Cuautitlán, México., [2] Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, INIFAP, Ajuchitlán, Querétaro, México., [3] Departamento de Medicina y Zootecnia de Aves, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM. México., [4] Department of Poultry Science, University of Arkansas, Fayetteville, USA.
yair.lopez.garcia@outlook.com

Resumen
Las Sustancias húmicas (SH) son un compuesto integrado en su mayoría por ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, que se generan a partir de un complejo proceso de biotransformación de la materia orgánica. Se cree que las SH tienen un efecto promotor del crecimiento a causa del refortalecimiento del moco protector en el epitelio del intestino delgado y conjuntamente, favorecer el mantenimiento de la integridad de las vellosidades intestinales ante agentes infecciosos y toxinas. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de las SH de lombricomposta adicionadas en dietas de pollos de engorda usando dos regímenes alimenticios y desafiados con lipolisacárido de *E.coli*, sobre la integridad intestinal y los cambios microscópicos en el yeyuno. Se utilizaron 40 pollos de 7 días de vida, alojados en jaulas individuales tipo batería, asignados a uno de cuatro tratamientos, utilizando dos sistemas de alimentación (Dieta continua o alternada cada dos días) combinados con dos promotores del crecimiento (antibiótico promotor del crecimiento-APC o con 0.33% de SH). Al día 20 a manera de desafío se inyectó un lipopolisacárido de *E. coli*., y al día 21 los pollos fueron sacrificados, se tomaron muestras sanguíneas y de yeyuno para determinar la altura, el ancho, el área, y la profundidad de la cripta de las vellosidades intestinales, también se cuantificó el número de células caliciformes, y se colecto la tibia para análisis de materia seca y cenizas, además se midió el consumo de alimento y la ganancia de peso. Se realizó un análisis de varianza, usando un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 2 x 2, con dos sistemas de alimentación (dieta continua o alternada) y dos aditivos (APC o SH). Los resultados indican que independiente del sistema de alimentación los pollos que recibieron SH presentaron mayor consumo de alimento y ganaron más peso corporal del día 7 al día 21, así como un mayor peso de la materia seca y cenizas en las tibias comparada con los de APC. El ancho y área de las vellosidades, así como la profundidad de la cripta fue más pequeña en los animales que recibieron APC con una dieta continua comparado con los pollos que recibieron SH. Además, el número de células caliciformes fue mayor en los animales que recibieron SH independiente del sistema de alimentación comparado con el de los pollos que recibieron APC bajo una dieta continua Por lo anterior, concluimos que las SH de lombricomposta permiten cambios microscópicos en la mucosa digestiva en el yeyuno que favorecen la integridad intestinal, y subsecuentemente la ganancia de peso y mineralización ósea en los pollos de engorda, pudiendo ser considerados como una alternativa a los APC.

Palabras Clave: Sustancias húmicas, antibióticos promotores del crecimiento, pollo de engorda, comportamiento productivo, vellosidades intestinales, células caliciformes.

Introducción

La apertura a un mayor abanico de alternativas a la sustitución de los antibióticos promotores del crecimiento (APC) hoy en día va en aumento, y es loable que la comunidad científica se esté enfocando en este tema que a mediano o largo plazo será un requisito para la producción avícola a nivel mundial [1, 2, 3, 4 y 5] ; en los que están implícitos temas como el cuidado del medio ambiente, salud intestinal, inmunología, comportamiento productivo, particularidades de la carne, así como de salud en general de los animales domésticos. Las sustancias húmicas (SH) obtenidas a partir de leonardita y lignito se han venido estudiando por décadas y se han comprobado sus efectos beneficios cuando son implementadas para el control y prevención de padecimientos médicos tanto en animales como en humanos [6, 7 y 8].

Las SH son un compuesto integrado en su mayoría por ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, que se generan a partir de un complejo proceso de biotransformación de la materia orgánica [9 y 10]. Sin embargo, el uso de SH procedentes de una lombricomposta que utiliza como sustrato excretas de animales domésticos es una opción novedosa y amigable con el medio ambiente, y que está tomando relevancia como alternativa a la sustitución de los APC en animales como los pollos de engorda y gallinas de postura [10, 11, 12, 13, 14 y 15]. A pesar de esto, aun se sigue tratando de esclarecer cuáles son sus mecanismos de acción con relación a los efectos positivos que se tienen a nivel productivo. Se cree que las SH

pueden formar una película protectora en el epitelio intestinal y con ello reforzar esta barrera contra bacterias patógenas y la absorción de agentes tóxicos en el intestino debido a sus propiedades coloidales y alta capacidad de formar agregados dentro de las soluciones [16]. Se ha demostrado en pollos de engorda que las SH tienen la capacidad de reducir la translocación bacteriana del intestino al hígado, aumentar la viscosidad intestinal y disminuir los niveles séricos de isotiocianato de fluoresceína–dextrano (FITC-d), marcador de permeabilidad intestinal [17], además de regular positivamente la expresión génica de glicoproteína MUC-2 [18] gen que codifica para la síntesis de mucinas por las células caliciformes, componente principal del moco [19]. Por lo anterior, es sugerible que las SH puedan tener un efecto promotor del crecimiento a causa del refortalecimiento del moco protector en el epitelio del intestino delgado y conjuntamente, favorecer el mantenimiento de la integridad de las vellosidades intestinales ante agentes infecciosos y toxinas. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de las SH de lombricomposta adicionadas en dietas de pollos de engorda usando dos regímenes alimenticios y desafiados con lipolisacárido de *E.coli*, sobre la integridad intestinal y los cambios microscópicos en el yeyuno.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en la granja experimental del CENID Fisiología y Mejoramiento Animal del INIFAP en Ajuchitlán, Querétaro, México. El extracto de SH fue obtenido de una lombricomposta elaborada con estiércol de borrego siguiendo las recomendaciones de Stevenson, 1994 [20]. En estudios previos ya se determinó la composición y aromaticidad del extracto de SH utilizado, teniendo una concentración de ácidos húmicos de 47.1 %, de ácidos fúlvicos de 29.6 % y 23.2% de cenizas, con base en materia seca. Su aromaticidad estimada fue del 53.8 % [10].

Se utilizaron 40 pollos machos de la línea Ross 308 de 7 días de vida, alojados en jaulas individuales tipo batería. Se les asignaron cuatro tratamientos utilizando dos sistemas de alimentación (Dieta continua o alternada) combinados con dos promotores del crecimiento. Los tratamientos fueron: 1) Dieta con base en maíz y pasta de soya (M/PS) ofrecida continuamente durante el experimento, adicionada con BMD y nicarbacina; 2) Dieta M/PS alternada con una dieta a base de sorgo, pasta de soya y pasta de canola (S/PS/PC) con cambios de dieta cada dos días durante experimento, adicionadas con BMD y nicarbacina; 3 = Dieta M/PS ofrecida continuamente, adicionada con 0.33% de SH; y 4) Dietas M/PS y S/PS/PC alternadas cada dos días, adicionadas con 0.33% de SH. Al día 20 de vida, se inyectó a los pollos por vía intraperitoneal, como fuente de desafío, un lipopolisacárido de *E. coli* a una dosis de 3 mg/kg. Al día 21 se sacrificaron a todos los animales y se tomó otra muestra de sangre para realizar pruebas de función hepática, se cuantificó la concentración de urea, fosfatasa alcalina (FA), alanina aminotransferasa (ALT), y aspartato aminotransferasa (AST). Mediante la técnica de espectrofotometría UV, usando kits comerciales. Se colectó la tibia izquierda de cada pollo para determinar la materia seca y ceniza. Inmediatamente después del sacrificio se colectó una muestra del yeyuno y se fijó en formol al 10%. Las muestras se procesaron y fueron embebidas en parafina. Se realizaron cortes histológicos de los tejidos a 5 µm de grosor. Se determinó la altura, el grosor y el área de las vellosidades intestinales implementando la formula: (2 π) x (ancho/2) x (largo) [21 y 22]. Además, en el yeyuno se realizaron por separado las tinciones de PAS de Schiff para identificar mucinas neutras, y con azul alcián a pH 1 y 2.5 para identificar mucinas acidas sulfatadas y acidas no sulfatadas (sialinomucinas) respectivamente. La cuantificación del número de células caliciformes, así como el análisis morfométrico se realizó en diez vellosidades por pollo de cada tratamiento.

AVEM Avicespecialistas de México

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis de varianza, usando un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 2 x 2, con dos sistemas de alimentación (dieta continua o alternada) y dos aditivos (APC o SH). En las variables en donde la interacción no fue significativa ($p > 0.05$) se presentan solo los efectos principales de cada factor. En los Cuadros de resultados se presentan las medias de mínimos cuadrados y el error estándar de la media.

Resultados

En las variables de comportamiento productivo de 7 a 21 días, la interacción entre el promotor del crecimiento con el sistema de alimentación no fue significativa ($p > 0.05$), los efectos principales en estas variables se encuentran en el Cuadro 1. Se observó que el peso corporal a los 21 días, la ganancia de peso y consumo de alimento de 7-21 días fueron mayores ($p < 0.01$) en los pollos que recibieron SH comparados con los que recibieron APC.

Cuadro 1. Comportamiento Productivo de 7 a 21 días

Comportamiento productivo [a]	Promotor de crecimiento				Sistema de alimentación			
	APC	SH	EEM	*P*	Continua	Alternada	EEM	*P*
Peso corporal a los 7 días, kg	0.13	0.13	0.001	0.68	0.13	0.13	0.001	0.13
Peso corporal a los 21 días, kg	0.71	0.79	0.010	0.01	0.74	0.76	0.011	0.20
Ganancia de peso de 7-21 días, kg	0.59	0.66	0.011	0.01	0.62	0.63	0.011	0.13
Consumo de alimento de 7-21 días, kg	0.82	0.93	0.026	0.01	0.84	0.92	0.026	0.05
Conversión alimenticia	1.42	1.41	0.049	0.75	1.38	1.46	0.049	0.35

APC= Antibiótico promotor del crecimiento; SH= Sustancias Húmicas; EEM=Error estándar de la media, *P*= Valor de Probabilidad; [a] Los datos son medias de diez repeticiones/tratamiento.

No se encontró interacción entre el promotor del crecimiento y el sistema de alimentación sobre el contenido de materia seca y de cenizas en la tibias a los 21 días ($p > 0.05$). Los resultados mostrados en el Cuadro 2 indican que hubo un efecto del promotor del crecimiento ($p < 0.05$) sobre el peso de la materia seca y el peso de las cenizas de la tibia, siendo mayores ($p < 0.01$) en los pollos que recibieron SH en comparación con los que recibieron APC.

Cuadro 2. Peso y cenizas de la tibia a los 21 días

Medidas de la tibia [a]	Promotor de crecimiento				Sistema de alimentación			
	APC	SH	EEM	*P*	Continua	Alternada	EEM	*P*
Materia seca, %	36.13	36.28	0.225	0.64	36.36	36.05	0.222	0.32
Materia seca, g	2.22	2.60	0.057	0.01	2.40	2.42	0.058	0.81
Cenizas, %	40.52	41.24	0.287	0.08	41.16	40.60	0.287	0.17
Cenizas, g	0.90	1.07	0.028	0.01	0.99	0.98	0.028	0.88

APC= Antibiótico promotor del crecimiento; SH= Sustancias Húmicas; EEM=Error estándar de la media, *P*= Valor de Probabilidad; [a] Los datos son medias de diez repeticiones/tratamiento.

En el Cuadro 3 se muestran los niveles de los marcadores bioquímicos que indican parte del estado metabólico del animal como la urea y sobre las enzimas hepáticas indicadoras de daño tisular y hepático, sin embargo, no se encontraron efectos significativos sobre estas variables ($p > 0.05$).

Cuadro 3. Enzimas séricas y urea a los 21 días

Marcador bioquímico [a]	Promotor de crecimiento				Sistema de alimentación			
	APC	SH	EEM	*P*	Continua	Alternada	EEM	*P*
ALT, U/L	8.26	8.315	1.212	0.77	7.95	8.625	1.219	0.72
AST, U/L	161.68	162.79	37.410	0.98	135.84	188.63	37.271	0.33
FA, U/L	1181.3	773.5	240.601	0.25	1104.8	850.0	240.974	0.47
Urea, mmol/L	0.42	0.32	0.052	0.21	0.39	0.35	0.052	0.59

APC= Antibiótico promotor del crecimiento; SH= Sustancias Húmicas; ALT= Alanina aminotransferasa; AST= Aspartato aminotransferasa; FA= Fosfatasa alcalina; EEM=Error estándar de la media, *P*= Valor de Probabilidad; [a] Los datos son medias de diez repeticiones/tratamiento.

Figura 1. Altura de las vellosidades del yeyuno.

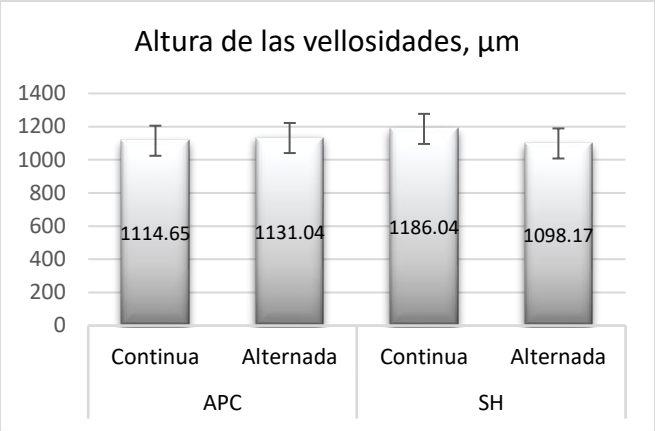
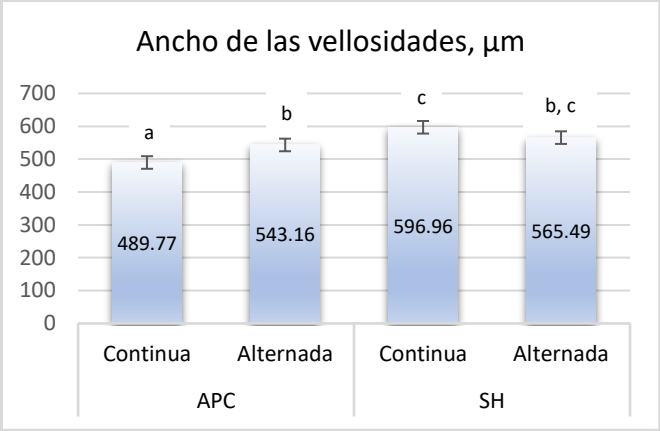


Figura 2. Ancho de las vellosidades del yeyuno. [a, b, c] ***p* < 0.05.**



El área aparente de las vellosidades fue afectada significativamente por la interacción entre el sistema de alimentación y el promotor del crecimiento ($p < 0.01$). En la Figura 3 se observa que, con APC y dieta continua, el área fue menor respecto a la de los pollos con dieta alternada; por otro lado, con SH el área de las vellosidades es similar entre los animales con ambos sistemas de alimentación, siendo similar en tamaño a la de los pollos que recibieron APC y dieta alternada ($p > 0.05$).

En la Figura 4 se presenta la interacción entre el sistema de alimentación y el promotor del crecimiento sobre la profundidad de la cripta ($p < 0.01$). Los pollos que recibieron una dieta continua y APC presentaron menor profundidad de la cripta respecto a los animales con una alimentación Alternada con APC. Con SH se presentó la mayor profundidad de las criptas en aquellos pollos con una dieta continua, respecto a los que recibieron la dieta alternada que fue menor.

Figura 3. Área de las vellosidades del yeyuno.
[a, b] ***p* < 0.05.**

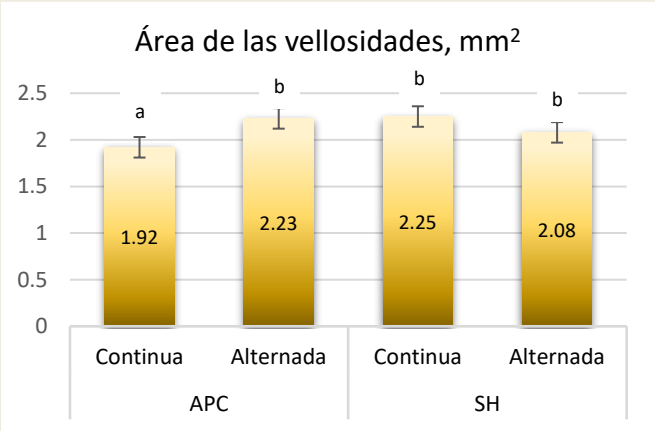
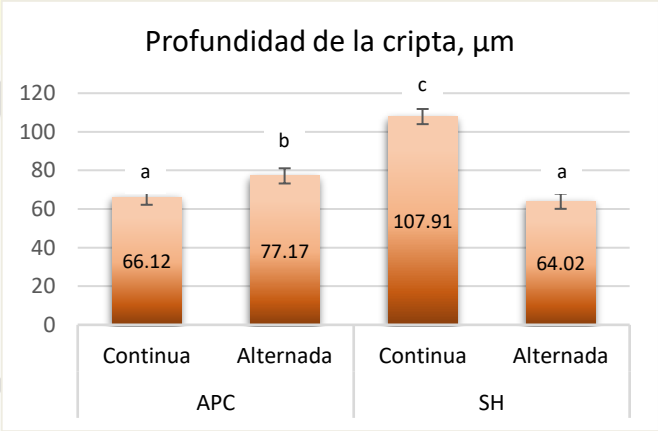


Figura 4. Profundidad de las criptas en el yeyuno.
[a, b, c] ***p* < 0.05.**



La relación altura de las vellosidades/ profundidad de la cripta se encuentra en la Figura 5, observándose una interacción entre el sistema de alimentación con el promotor de crecimiento ($p < 0.01$). Con APC y una dieta continua la relación altura de la vellosidad:profundidad de la cripta fue mayor comparada con los animales con dieta alternada; por el contrario, con SH la relación altura de la vellosidad:profundidad de la cripta fue mayor en los pollos que recibieron una dieta alternada respecto a los que recibieron una dieta continua.

En la figura 6 se encuentra el número de células caliciformes neutras, observamos Interacción entre el sistema de alimentación y el promotor de crecimiento ($p < 0.05$), cuando se administran APC o SH el número de células neutras es similar entre los pollos que recibieron una dieta continua o alternada, sin embargo, con SH se presentó mayor número de

células caliciformes neutras independientemente del sistema de alimentación comparado con el de los pollos que recibieron APC usando dieta continua.

Figura 5. Relación altura de la vellosidad y profundidad de la cripta en el yeyuno. [a, b, c] $p < 0.05$.

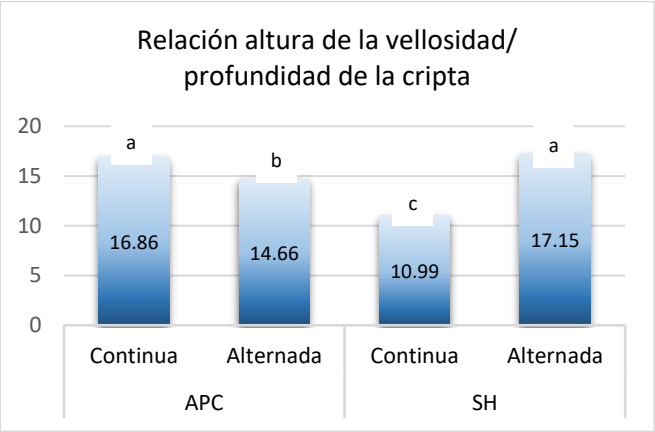
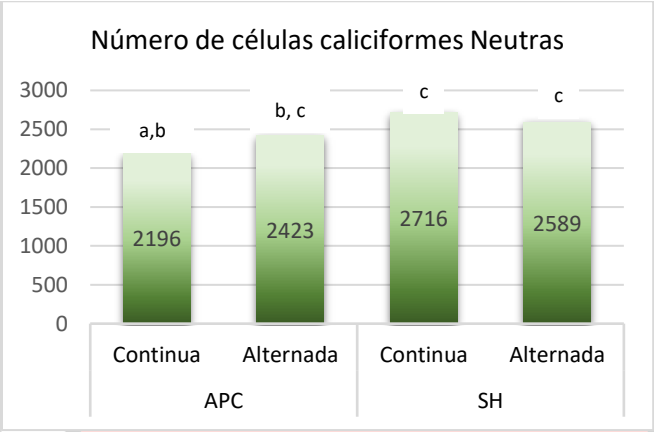


Figura 6. Número de células caliciformes Neutras en el yeyuno. [a, b, c] $p < 0.05$.



En la figura 7 se encuentra el número de células caliciformes ácidas sulfatadas, y el la figura 8 el número de células caliciformes acidas no sulfatadas, en ambas variables observamos interacción entre el sistema de alimentación con el promotor de crecimiento ($p < 0.05$), aquí los pollos que recibieron SH con un sistemas de alimentación continuo tuvieron mayor número de células caliciformes que los que recibieron alimentación alternada, sin embargo, el número de células caliciformes fue mayor con ambos sistemas de alimentación administrando SH comparado con el de los pollos que recibieron APC y una dieta continua.

Figura 7. Número de células caliciformes Ácidas Sulfatadas en el yeyuno. [a, b, c] $p < 0.05$.

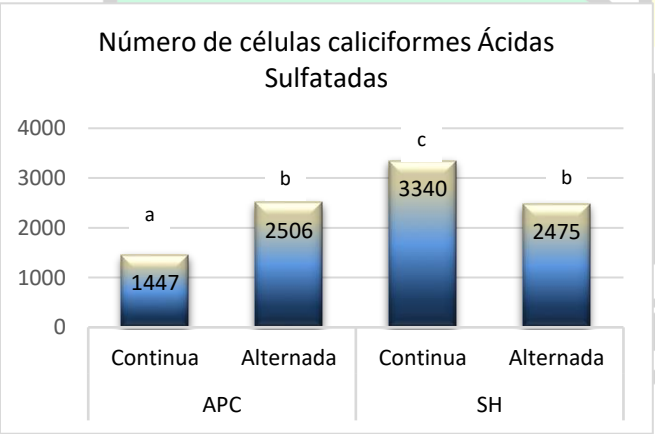
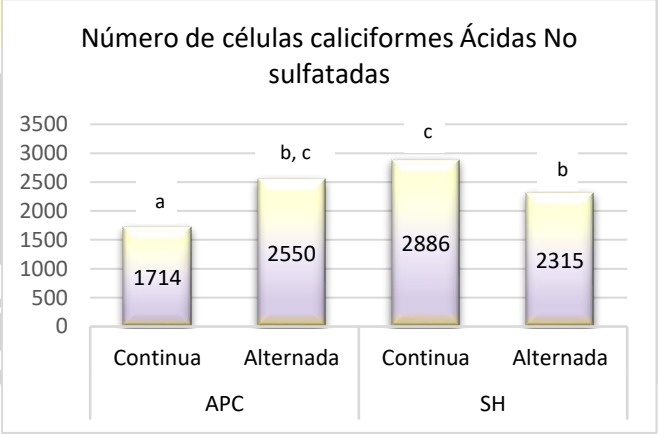


Figura 8. Número de células caliciformes Ácidas No sulfatadas en el yeyuno. [a, b, c] $p < 0.05$.



Discusión

Comportamiento productivo.

Como se ha demostrado anteriormente las SH de lombricomposta están relacionadas con beneficios sobre el comportamiento productivo [10, 12, 15 y 23]. En este estudio la administración de SH de lombricomposta en la dieta de los pollos, incrementó el peso corporal final y la ganancia de peso y consumo de alimento de 7-21 días, respecto a los animales que recibieron APC independientemente del sistema de alimentación; incluso tras haber recibido el lipopolisacárido de *E. coli*. En los 14 días experimentales no se redujo la conversión alimenticia usando SH; sin embargo,

este índice se comportó como el de los animales que recibieron APC independientemente del sistema de alimentación. Un efecto similar se reportó en estudios previos [10 y 15].

Características de las Tibias.

Se ha reportado mayor retención de cenizas y aumento en la mineralización de la tibia con la inclusión de SH de lombricomposta en el agua de bebida de pollos de engorda [13 y 23]. En el presente estudio se pudo observar un aumento de 15.38% y de 15.89 %, en el peso de materia seca y cenizas respectivamente, en las tibias de los animales que recibieron SH respecto a los animales con APC independientemente de la dieta. Este aumento de materia seca y cenizas podría estar relacionado con el aumento de la mineralización de la matriz ósea en los pollos de este experimento. Se ha visto que la inclusión de SH repercute en la concentración de calcio y fosforo en sangre [24] y se refleja en una mejor mineralización de las tibias en pollos de engorda, favoreciendo la resistencia estructural de los huesos, reduciendo los problemas locomotores [25].

Características microscópicas de las vellosidades del yeyuno.

Los APC mejoran el crecimiento de los animales manteniendo el equilibrio de la microbiota intestinal, reduciendo la capacidad de una disbiosis bacteriana, de procesos inflamatorios y aumento de la descamación de enterocitos en el epitelio intestinal en respuesta a la proliferación de bacterias patógenas; por lo tanto, cuando no está comprometida la salud intestinal, ni la integridad de sus vellosidades, hay una mayor eficiencia del intestino para digerir y absorber nutrientes [26, 27 y 28]. Cuando se administra un antibiótico como el BMD el tamaño del intestino tiende a ser de menor tamaño [29], así como también el de las vellosidades intestinales [30 y 31] cuando se compara con el de animales del grupo control. Con los resultados obtenidos en este estudio se confirma este efecto, y además se observa que tanto el ancho y el área aparente de las vellosidades son más pequeñas cuando los animales no están bajo condiciones que puedan causar algún trastornos digestivos como ocurre con el sistema de alimentación continuo. Con el uso de SH, la altura, ancho y área de las vellosidades fueron similares independientemente del sistema de alimentación; pero además estas mismas vellosidades presentaron un ancho y área mayor que cuando se administró APC con la dieta continua. Lo que sugiere que las SH tienen un efecto trófico sobre las vellosidades del yeyuno, permitiendo mayor ganancia de peso gracias a la mayor superficie de absorción de nutrientes en las vellosidades del segmento intestinal que lleva a cabo la mayor digestión y absorción de nutrientes.

Existe la teoría de que cuando la altura de las vellosidades esta disminuida y la profundidad de las criptas intestinales es más profunda hay un proceso más vertiginoso de recambio epitelial en las vellosidades; lo que está asociado a la exposición de toxinas, inflamación patogénica y descamación de enterocitos [32], pudiendo ocasionar una mala absorción de nutrientes, diarrea y menor rendimiento en general [33]. Los resultados obtenidos en este estudio nos indican que cuando se usan los dos sistemas de alimentación y se administra SH, independientemente la profundidad de la cripta y de la relación de la altura de las vellosidades:profundidad de la cripta, no importa, ya que al final del experimento los pollos que recibieron SH fueron los más pesados, comparado con los pollos que recibieron APC.

Teóricamente los APC no actúan de manera directa protegiendo al epitelio intestinal, sino controlando agentes patógenos que comprometen la integridad del epitelio [26]. En el presente estudio no se realizaron pruebas bacteriológicas, pero se encontró que cuando el sistema de alimentación es alternado y se administran APC, las criptas son más profundas, caso contrario a lo ocurrido con la alimentación continua; por lo tanto, el sistema de alimentación alternado independientemente del uso de APC pudiera estar acelerando la tasa de recambio celular, caso contrario de cuando se utilizó el sistema de alimentación continua en donde la profundidad de criptas fue más corta y posiblemente la tasa de recambio celular es más baja. Sin embargo, en estos pollos que consumieron APC con ambos sistemas de alimentación el peso corporal a los 21 días fue similar, incluso fueron más ligeros que los pollos que se consumieron SH.

La mejora en la ganancia de peso y del peso de las tibias en los pollos que recibieron SH durante 14 días al parecer está relacionada con el aumento de tamaño del área aparente de las vellosidades independientemente del sistema de alimentación, y con el sistema protector que ejerce el moco en el epitelio intestinal, ya que el número de células caliciformes neutras fue de 12.93 % más que con APC. Las células caliciformes están encargadas de producir glicoproteínas llamadas mucinas; son el componente principal del moco que actúa en la primera línea de defensa en el intestino, evitando

el daño físico y químico causado por agentes patógenos y sus toxinas, además el moco ayuda a mantener la hidratación y la lubricación en el epitelio intestinal [19, 34 y 35]. Maguey et al., 2018 [17] ha reportado que al utilizar ácidos húmicos en pollos de engorda restringidos de alimento durante 24 horas, hay un incremento de la viscosidad del contenido intestinal, reducción de la traslocación bacteriana hacia el hígado y disminución de la permeabilidad intestinal usando como marcador sérico el FITC-d. También se ha reportado que las SH pueden regular positivamente la expresión génica de glicoproteína MUC-2 [18]. También se ha visto en un estudio previo que al administrar SH de lombricomposta durante un periodo de 14 días donde las condiciones digestivas son estables, el número de células caliciformes productoras de mucinas se comporta similar al de los animales que recibieron APC, mientras que después de un cambio bruscos de dieta, el número de células caliciformes disminuye de forma intermedia entre los pollos que recibieron APC y los pollos libres de APC [15]. En el presente estudio, el número de células caliciformes fue mayor en los pollos que recibieron SH utilizando ambos sistemas de alimentación comparado con los pollos que recibieron APC. Con el aumento del número de células caliciformes, el moco producido pudo haber ayudado a proteger y a disminuir la perdida celular por descamación debida a los cambios alternados de alimento, por lo que la tasa de recambio celular estaría disminuida, viéndose reflejada con la menor profundidad de la cripta. Mientras que, con un sistema de alimentación continuo, la integridad intestinal no se estaría comprometiendo y al administrar SH, el aumento observado del número de células caliciformes podría estar ayudando con el moco que estas producen, a mantener reducida la descamación celular natural, dando pauta a que las SH favorecen el mantenimiento del tejido sano. En este estudio el incremento del número células caliciformes al administrar SH posiblemente potencializó el moco, mejorando su efecto protector en las vellosidades intestinales a pesar de tener cambios alternados en las dietas y ser desafiados con el lipopolisacárido de *E. coli*. Con estos hallazgos podemos ver que las SH están estimulando modificaciones en la mucosa digestiva haciendo que los pollos ganen más peso.

Conclusiones

En los pollos que recibieron SH durante 14 días consecutivos usando ambos sistemas de alimentación, continuo y alternado, se encontró que el área y ancho de las vellosidades del yeyuno, número de células caliciformes en las vellosidades del yeyuno, peso de la materia seca y cenizas de las tibias, así como la ganancia de peso y el consumo de alimento fueron superiores al de los animales que recibieron APC. No hubo efecto del sistema de alimentación y del promotor de crecimiento sobre urea, ASP, ALT y FA. Las SH de lombricomposta podrían ser una alternativa a los APC, ya que permiten cambios microscópicos en la mucosa digestiva en el yeyuno que favorecen la integridad intestinal, y subsecuentemente la ganancia de peso y mineralización ósea en los pollos de engorda.

Referencias

[1] A. Menconi, L. R. Bielke, B. M. Hargis, and G. Tellez. Immuno-modulation and anti-inflammatory effects of antibiotic growth promoters versus probiotics in the intestinal tract. Journal of Microbiology Research and Reviews. 2:62-67. 2014.

[2] S. Chowdhury, G. P. Mandal, A. K. Patra, P. Kumar, I. Samanta, S. Pradhan, and A. K. Samanta. Different essential oils in diets of broiler chickens: Gut microbes and morphology, immune response, and some blood profile and antioxidant enzymes. Animal Feed Science and Technology. 236:39-47. 2018.

[3]. H. M. Salim, K. S. Huque, K. M. Kamaruddin and M. D. Anwarul. Global restriction of using antibiotic growth promoters and alternative strategies in poultry production. Science Progress 101:52–75. 2018.

[4] R. Svejstil, V. Plachy, M. Joch, H. Salmonova, D. Duskova, V. Hautekiet, and E. Vlkova. Effect of probiotic Clostridium butyricum CBM 588 on microbiota and growth performance of broiler chickens. Czech Journal of Animal Science. 64:387–394. 2019.

[5] H. Gong, Z. Yang, P. Celi, L. Yan, X. Ding, S. Bai, Q. Zeng, S. Xu, Z. Su, Y. Zhuo, K. Zhang, and J. Wang. Effect of benzoic acid on production performance, egg quality, intestinal morphology, and cecal microbial community of laying hens. Poultry Science. 100:196–205. 2021.

[6] E. M. Peña-Méndez, J. Havel, and J. Patočka. Humic substances. compounds of still unknown structure: applications in agriculture, industry, environment, and biomedicine. J. Appl. Biomed. 3:13-24. 2005.

[7] M. de L. Ángeles, S. Gómez-Rosales, and G. Téllez-Isaias. Mecanismos de Acción de Sustancias Húmicas como Promotores de Crecimiento en Animales. En Humus y sustancias húmicas: avances recientes; Abdelhadi, M., Ed.; IntechOpen: Londres, Reino Unido, 2022.

[8] EMEA. Comité de Productos Médicos Veterinarios. Ácidos húmicos y sus sales de sodio, Informe resumido. Comité de Medicamentos Veterinarios. Disponible en línea: http://www.ema.europa.eu/docs/en_GB/document_library/Maximum_Residue_Limits__Report/2009/11/WC500014416 (consultado el 29 de octubre de 2022).

[9] K. M. Islam, A. Schuhmacher, and J. M. Gropp. Humic acid substances in animal agriculture. Pakistan Journal of Nutrition. 4:126–134. 2005.

[10] A. Domínguez-Negrete, S. Gómez-Rosales, M. de L. Angeles, L. H. López-Hernández, T. C. Reis-de Souza, Y. López-García, A. Zavala-Franco, and G. Téllez-Isaias. Effect of the addition of humic substances as growth promoter in broiler chickens under two feeding regimens. Animals. 9:1101. 2019.

[11] Arif, M., M. Alagawany, M. E. Abd El-Hack, M. Saeed, M. A. Arain, and S. S. Elnesr. Humic acid as a feed additive in poultry diets: A review. Iranian journal of veterinary research 20: 167. 2019.

[12] A. Domínguez-Negrete, S. Gómez-Rosales, M. de L. Angeles, L. H. López-Hernández, T. C. Reis de Souza, J. D. Latorre-Cárdenas, and G. Téllez-Isaias. Addition of different levels of humic substances extracted from worm compost in broiler feeds. Animals. 11: 3199. 2021.

[13] M. de L. Angeles, S. Gómez-Rosales, Y. R. López-García, and A. Montoya-Franco. Growth Performance and Tibia Mineralization of Broiler Chickens Supplemented with a Liquid Extract of Humic Substances. Brazilian Journal of Poultry Science, 24. 2022.

[14] S. Gómez-Rosales, M. de L. Angeles, L. H López-Hernández, Y. R. López-García, and A. Domínguez-Negrete. Responses of Broiler Chickens Fed Low or High Non-Starch Polysaccharide Diets and the Addition of Humic Substances from a Worm Compost. Brazilian Journal of Poultry Science, 24. 2022.

[15] Y. R. López-García, S. Gómez-Rosales, M. de L. Angeles, H. Jiménez-Severiano, R. Merino-Guzman, and G. Téllez-Isaias. Effect of the Addition of Humic Substances on Morphometric Analysis and Number of Goblet Cells in the Intestinal Mucosa of Broiler Chickens. Animals, 13:212. 2023.

[16] V. M. Kühnert, K. P. Bartels, S. Kröll, and N. Lange. Huminsäurehaltige tierarzneimittel in therapie and prophylaxe bei gastrointestinalen erkrankungen von hund und katze. Monatshefte Vet, 46:4-8. 1991.

[17] J. A. Maguey-Gonzalez, M. A, Michel, and M. F. A. Baxter. Effect of humic acids on intestinal viscosity, leaky gut and ammonia excretion in a 24 hr feed restriction model to induce intestinal permeability in broiler chickens. Animal Science Journal. 89: 1002–1010. 2018.

[18] D. Mudroňová, V. Karaffová, T. Pešulová, J. Koščová, I. Cingeľová-Maruščáková, M. Bartkovský, D. Marcinčáková, Z. Ševčíková, and S. Marcinčák. The effect of humic substances on gut microbiota and immune response of broilers. Food and Agricultural Immunology. 31:137–149. 2020.

[19] K. A. Knoop and R. D. Newberry. Goblet cells: multifaceted players in immunity at mucosal surfaces. Mucosal Immunology 11:1551-1557. 2018.

[20] Stevenson, F.J. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. John Wiley & Sons. New York, NY, USA, 1994.

[21] F. Solis de los Santos, G. Tellez, M. B. Farnell, J. M. Balog, N. B. Anthony, H. O. Pavlidis, and A. M. Donoghue. Hypobaric hipoxia in ascites resistant and susceptible broiler genetic lines influences gut morphology. Poultry Science 84:1495-1498. 2005.

[22] S. Nain, R. A. Renema, M. J. Zuidhof, and D. R. Korver. Effect of metabolic efficiency and intestinal morphology on variability in n-3 polyunsaturated fatty acid enrichment of eggs. Poultry Science 91 :888–898. 2012.

[23] S. Gómez-Rosales, and M. de L. Ángeles. Addition of a worm leachate as source of humic substances in the drinking water of broiler chickens. Asian-Australas J. Anim. Sci. 28:215-222. 2015.

[24] I. Jaďuttová, D. Marcinčáková, M. Bartkovský, B. Semjon, M. Harčárová, A. Nagyová, P. Váczi, and S. Marcinčák. The effect of dietary humic substances on the fattening performance, carcass yield, blood biochemistry parameters and bone mineral profile of broiler chickens. Acta Veterinaria Brno, 88:307-313. 2019.

[25] A. R. P. Disetlhe, U. Marume, V. Mlambo, and I. Dinev.. Humic acid and enzymes in canola-based broiler diets: Effects on bone development, intestinal histomorphology and immune development. S. Afr. J. Anim. Sci. 47:914-922. 2017.

[26] W. J. Visek. The mode of growth promotion by antibiotics. Journal of Animal Science, 46:1447-1469. 1978.

[27] G. Huyghebaert, R. Ducatelle, and F. V. Immerseel. An update on alternatives to antimicrobial growth promoters for broilers. The Veterinary Journal 187:182–188. 2011.

[28] H. M. Salim., K. S. Huque, K. M. Kamaruddin and M. D. Anwarul. Global restriction of using antibiotic growth promoters and alternative strategies in poultry production. Science Progress 101:52–75. 2018.

[29] R. D. Miles, G. D. Butcher, P. R. Henry, y R. C. Littell. Efecto de los antibióticos promotores del crecimiento sobre el rendimiento de los pollos de engorde, los parámetros de crecimiento intestinal y la morfología cuantitativa. Ciencia avícola , 85:476-485. 2006.

[30] S. Samanta, S. Haldar, and T. K. Ghosh. Comparative efficacy of an organic acid blend and bacitracin methylene disalicylate as growth promoters in broiler chickens: effects on performance, gut histology, and small intestinal milieu. Veterinary medicine international, 2010.

[31] D. A. Koltes, H. D. Lester, and M. Frost. Effects of bacitracin methylene disalicylate and diet change on gastrointestinal integrity and endotoxin permeability in the duodenum of broiler chicken. BMC Res. Notes 10: 470. 2017.

[32] C. V. Yason, B. A. Summers, and K. A. Schat. Pathogenesis of rotavirus infection in various age groups of chickens and turkeys: Pathology. Am. J. Vet. Res., 6:927-938. 1987.

[33] Z. R. Xu, C. H. Hu, M. S. Xia, X. A. Zhan, and M. Q. Wang. Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers. Poultry Science, 82:1030-1036. 2003.

[34] E. Salvo-Romero, C. Alonso-Cotoner, C. Pardo-Camacho, M. Casado-Bedmar y M. Vicario. Función barrera intestinal y su implicación en enfermedades digestivas. Revista Española de Enfermedades Digestivas. 107: 686-696. 2015.

[35] L. J. Broom. Gut barrier function: effects of (antibiotic) growth promoters on key barrier components and associations with growth performance. Poultry science, 97:1572-1578. 2018.

EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE CUATRO ADITIVOS EN DIETAS PARA POLLO DE ENGORDA DE 1 A 49 DÍAS SOBRE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS

Ornelas Roa Ángel Manuel[1], Margarito Romero Melanie[1,2]
[1] Archer Daniels Midland Company
[2]Centro de enseñanza, investigación y extensión en producción avícola
melanie.margarito.332@gmail.com

Resumen
El presente estudio se realizó con la finalidad de evaluar el efecto de la inclusión de fitobióticos en dietas para pollo de engorda sobre parámetros productivos. Se utilizaron un total de 600 pollos de 1 día de edad de la estirpe Ross 308. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 5x2, donde un factor fue el tratamiento y otro el sexo. Los 5 tratamientos contaron con 2 repeticiones de hembras y 2 repeticiones de machos, siendo un total de 4 repeticiones por tratamiento de 30 pollos cada una. Los tratamientos fueron los siguientes: 1 Dieta Testigo + antibiótico (500g/t, 2 Dieta testigo + aditivo A (1 kg/t), 3 Dieta testigo + aditivo B1 (100 g/t) de 0 a 3 semanas de edad y aditivo B2 (100 g/t) de la semana 3 a la 7 de edad, 4 Dieta testigo + aditivo C (100 g/t), 5 Dieta testigo + aditivo D (350 g/t). Los resultados obtenidos en consumo de alimento, conversión alimenticia y mortalidad indicaron diferencia ($p<0.05$) entre tratamientos. Para el factor sexo existió diferencia ($p<0.05$) en todas las variables productivas obteniendo mejores resultados productivos en los machos, sin embargo, la mortalidad fue más elevada en estos. Los resultados de pigmentación amarilla de la piel y niveles de anticuerpos contra ENC no arrojaron diferencia estadística entre tratamientos. De los resultados obtenidos se puede concluir que los aditivos utilizados, arrojaron resultados similares al antibiótico promotor del crecimiento resultando en una alternativa.
Palabras Clave: botánicos, fitobióticos, alternativas, extractos, oleorresinas,coccidiosis.

Introducción

Desde el descubrimiento de los antibióticos en la década de 1920, han desempeñado un papel importante en el avance y la prosperidad de la industria avícola. Los antibióticos se han utilizado como suplemento en la alimentación animal en dosis subterapéuticas para mejorar el crecimiento y la eficiencia de conversión alimenticia y para prevenir infecciones durante más de 60 años [1]. A pesar del uso beneficioso de los antibióticos como promotores del crecimiento existe la preocupación de que su uso conduzca al desarrollo de resistencia a los antimicrobianos, lo que representa una amenaza potencial para la salud humana [2]. En vista de las crecientes preocupaciones sobre el uso de antibióticos promotores del crecimiento, la búsqueda de reemplazos alternativos novedosos para mitigar el uso de antibióticos en la alimentación animal ha crecido a lo largo de los años. Una de las alternativas son los aditivos fitogénicos, también conocidos como fitobióticos o productos botánicos, que son compuestos bioactivos naturales que se derivan de las plantas y se incorporan a los alimentos para animales para mejorar la productividad [3].
Los fitobióticos incluyen una amplia gama de productos derivados de plantas, respecto a su origen biológico, formulación, descripción química y pureza, se pueden clasificar en cuatro grupos 1) hierbas (productos de la floración, plantas no leñosas y no persistentes); 2) productos botánicos (partes enteras o procesadas de una planta, por ejemplo, raíces, hojas, corteza); 3) aceites esenciales (extractos hidrodestilados de compuestos vegetales volátiles); y 4) oleorresinas (extractos a base de disolventes no acuosos) [4]. Se pueden agregar a la dieta de los animales comerciales para mejorar su productividad mejorando las propiedades del alimento, promoviendo el rendimiento productivo de los animales y mejorando la calidad de los productos derivados de estos animales [5]. Se han utilizado en la industria porcina y avícola, mostrando resultados favorables en ganancia de peso, eficiencia alimentaria [6, 7, 8] así como mejora en la inmunidad del huésped [8, 9]. Entre las alternativas fitogenicas, se ha demostrado que componentes como el cinamaldehído, el carvacrol, la cúrcuma y la capsaicina mejoran la conversión alimenticia, la ganancia de peso, así como la inmunidad contra coccidiosis aviar y enteritis necrótica. [10,11]

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en el Centro de Enseñanza Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAv), perteneciente a la Facultad de Medina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM. Localizado en la calle Manuel M. López s/n Colonia Zapotitlán, Alcaldía Tláhuac, Ciudad de México.
Se utilizaron un total de 600 pollos de 1 día de edad de la estirpe Ross 308 obtenidos de una incubadora comercial, fueron distribuidos al azar en 5 tratamientos con 2 repeticiones de hembras y 2 repeticiones de machos, siendo un total de 4 repeticiones por tratamiento de 30 pollos cada una.
Se emplearon 4 fases de alimentación:

- Pre iniciador (0 a 10 días)
- Iniciador (11 a 21 días)
- Crecimiento (22 a 35 días)
- Finalizador (36 a 49 días).

Los tratamientos fueron los siguientes:

- Tratamiento 1: Dieta Testigo + antibiótico (500g/t)
- Tratamiento 2: Dieta testigo + aditivo A (extracto de oregano (carvacrol)) (1 kg/t)
- Tratamiento 3: Dieta testigo + aditivo B1 (Extracto de cúrcuma y capsaicina) (100 g/t) de 0 a 3 semanas de edad y aditivo B2 (Capsaicina, Carvacrol y Cinamaldehido) (100 g/t) de la semana 3 a la 7 de edad.
- Tratamiento 4: Dieta testigo + aditivo C (Oleorresina de cúrcuma) (100 g/t)
- Tratamiento 5: Dieta testigo + aditivo D (Extracto de oregano (carvacrol)) (350 g/t)

El agua y alimento se proporcionaron a libre acceso durante todo el experimento.
Las aves fueron alojadas en una caseta de ambiente natural con aislante térmico en el techo, habilitada con túneles internos y cortinas externas. La duración del experimento fue de 7 semanas.
Se llevaron registros semanales, durante todo el ciclo de producción, de ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y porcentaje de mortalidad. A los días 38, 45 y 48 de edad se evaluó la pigmentación amarilla de la piel del pollo con un colorímetro de reflectancia Minolta CR 300, en la zona aptérica lateral derecha.
Al día 10 de edad los pollos fueron vacunados contra la enfermedad de Newcastle (ENC), vía ocular y contra influenza aviar y ENC vía subcutánea. Al día 10 post vacunación se tomaron 2 muestras de sangre por replica para la determinación de los títulos de anticuerpos séricos para el virus de ENC a través de la prueba de inhibición de la hemoaglutinación (HI).
Al día 21 de edad todas las aves fueron desafiadas con un inoculo de ooquistes esporulados de *E. acervulina, E. tenella, E. máxima* vía oral para evaluar la respuesta de los aditivos frente a los parámetros productivos. Seis días post inoculación, todas las aves fueron medicadas con toltrazuril en agua de bebida con la finalidad de frenar la mortalidad post inoculación.
Los datos de las variables en estudio fueron analizados conforme un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x5; siendo el sexo un factor y el tratamiento el otro factor.

AVEM
Aviespecialistas de México

Resultados

Para los parámetros productivos, representados en el cuadro 1, existió diferencia ($p<0.05$), en el factor tratamiento en las variables consumo de alimento; con valores más bajos en los tratamientos 1 y 4, en conversión alimenticia; con mejores resultados en el tratamiento 1, seguidos de los tratamientos 5, 3 y 4 y en mortalidad; con valores más bajos en el tratamiento 1 seguido de los tratamientos 3, 4 y 5. En la variable ganancia de peso no se encontró diferencia entre tratamientos.
Para el factor sexo existió diferencia ($p<0.05$) en todas las variables obteniendo mejores resultados productivos en los machos, sin embargo, la mortalidad fue más elevada en estos.
En los resultados de pigmentación amarilla de la piel, cuadro 2, no se observó diferencia estadística entre tratamientos.
Por otra parte, en los resultados de niveles de anticuerpos contra ENC, representados en el cuadro 3, no se encontró diferencia significativa entre tratamientos.

	Ganancia de peso (g)	Consumo de alimento (g)	Conversión alimenticia (kg/kg)	Mortalidad (%)
Factor Tratamiento				
1	3297.05 a	6034.08 a	1.83 a	6.53 a
2	3275.5 a	6585.02 c	2.01 c	20.43 c
3	3316.61 a	6347.3 ab	1.92 ab	9.75 ab
4	3176.57 a	6117.94 a	1.93 ab	10.67 ab
5	3303.48 a	6273.29 ab	1.91 ab	12.28 ab
EEM	41.517	82.316	0.028	2.706
Factor sexo				
Macho	3547.31 b	6544.49 b	1.77 a	16.41 b
Hembra	3000.38 a	5998.56 a	1.90 b	7.45 a
EEM	26.250	52.06	0.039	1.71
Fuente de variación				
Tratamiento	0.197	0.007	0.016	0.043
Sexo	0.000	0.000	0.000	0.004
Trat. x sexo	0.534	0.28	0.084	0.056

Valores con literales diferentes indican diferencia $p<0.05$

Cuadro 1. Resultados promedio de los parámetros productivos en pollo de engorda a los 49 días de edad.

	Pigmentación amarilla de la piel (b*)		
Tratamiento	**Día 38**	**Día 45**	**Día 48**
1	14.84 a	15.88 a	15.42 a
2	14.68 a	17.98 a	19.32 a
3	12.64 a	18.30 a	17.68 a
4	14.78 a	18.44 a	18.84 a
5	13.58 a	18.39 a	18.30 a

Cuadro 2. Resultados promedio de pigmentación amarilla de la piel en pollos a los 38, 45 y 48 días de edad.

Tratamiento	Log	GMT
1	3.12 a	8.75 a
2	3.12 a	8.75 a
3	3.25 a	9.65 a
4	2.37 a	5.21 a
5	2.49 a	5.74 a
EEM	0.26	0.684
Probabilidad	0.06	0.081

Cuadro 3. Resultados promedio de anticuerpos vs. ENC en pollo de engorda 10 días post vacunación.

Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio arrojaron similitud en el tratamiento testigo y los suplementados con aditivos fitogénicos. Aunque los mecanismos de acción de los fitobioticos no son claros, se establece que mejoran la productividad de los animales mediante la estimulación del consumo a través de la mejora en el sabor y palatabilidad, estimulación de las secreciones digestivas, como la saliva, enzimas digestivas, bilis y moco, así como acción antimicrobiana pues contribuyen a estabilizar la eubiosis de la microbiota intestinal [4].

En un estudio realizado por Nacimiento *et al.,* [15], en donde compararon la acción de oleorresina de curcúma y capsaicina en pollos desafiados con coccidias, observaron resultados similares en ganancia de peso y conversión alimenticia en los grupos del tratamiento con coccidiostato y los que fueron suplementados con oleorresinas, de igual forma no encontraron diferencia entre los tratamientos en consumo de alimento y tasa de supervivencia, contrario a los resultados obtenidos en el presente experimento. Por otro lado, Jamroz *et al.,* [16] encontraron que la suplementación con mezclas de carvacrol, cinamaldehido y capsaicina mejoraban la conversión alimenticia en dietas a base de maíz. Resultados similares a los encontrados en este trabajo. De la misma forma, en un estudio realizado por Gaikwad *et al.,* [17], reportan que el peso corporal fue mayor y el consumo de alimento fue significativamente menor en animales suplementados con cinamaldehido. En otro estudio realizado por Kim *et* al., [18] en el que evaluaron la suplementación con extracto de Cúrcuma en dietas para pollos que fueron desafiados contra *Eimeria maxima y E. tenella,* encontraron que los grupos con dietas suplementadas mejoraban significativamente la ganancia de peso después del desafío.

Los resultados de los estudios mencionados previamente, sobre el efecto de la inclusión de aditivos fitogénicos en dietas para pollo de engorda sobre parámetros productivos, resultan controversiales; sin embargo, es importante considerar que las diferencias encontradas por los autores y en la presente investigación pueden atribuirse a muchas variables que afecten la respuesta de las aves a la inclusión de fitobioticos en la dieta, desde la efectividad de las moléculas utilizadas como aditivos que depende de varios factores como las condiciones de cultivo de la planta utilizada, parte de la planta que se procesa, método de extracción y las condiciones de almacenamiento [13,14], hasta las condiciones ambientales entre las que se pueden mencionar el ambiente de la caseta, condiciones de manejo, composición de la dieta, dosis de inclusión, estirpe, edad y sexo de las aves de experimentación.

Referencias

[1] Castañon J. History of the use of antibiotic as growth promoters in European poultry feeds. Poult Sci. 2007;86(11):2466-71.
[2] World Health Organization. The evolving threat of antimicrobial resistance: options for action [Internet]. 2012. 119 p. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44812/9789241503181_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y
[3] Windisch W, Schedle K, Plitzner C, Kroismayr A. Use of phytogenic products as feed additives for swine and poultry. J Anim Sci. 2008;86: E140-8.
[4] Windisch W, Kroismayr A. The effect of phytobiotics on performance and gur function in monogastrics [Internet]. Engormix. 2011. Disponible en: https://en.engormix.com/feed-machinery/forums/forum-effect-phytobiotics-performance-t28732/
[5] Gheisar M, Kim H. Phytobiotics in poutry and swine nutrition-a review. Ital J Anim Sci. 2018;17(1):92-9.
[6] Guo F, Kwakkel R, Soede J, Williams B, Verstegen M. Effect of a Chinese herb medicine formulation as an alternative for antibiotics on performance of broilers. Br Poult Sci. 2004; 45:793-7.
[7] Bravo D, Pirgozliev V, Rose S. A mixture of carvacrol, cinnamaldehyde and capsicum oleoresin improves energy utilization and growth performance of broiler chickens fed maize-based diet. J Anim Sci. 2014;92(4):1531-6.

[8] Lee S, Lillehoj H, Hong Y, Jang S, Lillehoj E, Ionescu C, et al. In vitro effects of plant and mushroom extracts on immunological function of chicken lymphocytes and macriphages. Br Poult Sci. 2010; 51:213-21.
[9] Iagawany M, El-Hack M, Farang M, Tiwari R, Dhama K. Biological effects and modes of action of carvacrol in animal and poultry production and health-a review. Adv Anim Vet Sci. 2015;3(2s):73-84.
[10] Kim J, Lillehoj H, Hong Y, Kim G, Lee S, Lillehoj E, et al. Dietary Capsicum and Curcuma longa oleoresins increase intestinal microbiome and necrotic enteritis in three commercial broiler breeds. Res Vet Sci. 2015; 102:150-8.
[11] Lee S, Lillehoj H, Lee K, Park M, Bravo D, Lillehoj E. Cinnamaldehyde enhances in vitro parameters of immunity and reduces in vivo infection against avian coccidiosis. Br Poult Sci. 2011;106(6):862-9.
[12] Lee S, Lillehoj H, Jang S, Kim D, Ionescu C, Bravo D. Effect of Dietary *Curcuma, Capsicum*, and *Lentinus* on Enhancing Local Immunity against *Eimeria acervulina* Infection. J Poult Sci. 2010; 47:89-95.
[13] Mohammadi M, Hosseindoust A, Kim I. Evaluating the effect of microencapsulated blends of organic acids and essential oils in broiler chickens diet. J Appl Poult Res. 2015;(24):511-9.
[14] 1. Diaz-Sanchez S, D'Souza D, Biswas D, Hanning I. Botanical alternatives to antibiotics for use in organic poultry production. Poult Sci. 2015; 94:1419-30.
[15] Nacimiento R, Moro M, Ferrari V, Sanfelice L, Pelissari P, Sartore Y, et al. Oleoresins from chili pepper and turmeric could substitute for salinomycin in broilers. Rev Colomb Cienc Pecu. 2020;33(3):195-201.
[16] Jamroz D, Wiliczkiewicz A, Wertelecki T, Orda J, Skorupinska J. Use of active substances of plant origin in chicken diets based on maize and locally grown cereals. Br Poult Sci. 2005;46(4):485-93.
[17] Gaikwad D, Fulpagare Y, Bhoite U, Deokar D, Nimbalkar C. Effect of Dietary Supplementation of Ginger and Cinnamon on Growth Performance and Economics of Broiler Production. Int J Curr Micribiol Appl Sci. 2019;8(3):1849-57.
[18] Kim D, Lillehoj H, Lee S, Jang S, Lillehoj E, Bravo D. Dietary Curcuma longa enhances resistance against Eimeria maxima and Eimeria tenella infections in chickens. Poult. Sci. 2013;(92):2635-43.

AVEM
Aviespecialistas de México

PRODUCCIÓN DE PAVO: UNA PARTE DE LA AVICULTURA QUE VA GANANDO TERRENO

Shayra Martínez Sánchez
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UNAM
shaymvz09@gmail.com

Resumen: La producción de pavo comúnmente toma importancia en las festividades decembrinas, sin embargo, el consumo de la carne ha sido base en la alimentación del mexicano desde la época prehispánica y ha permanecido hasta el presente. Sin embargo, en los últimos años ha ganado terreno gracias a la diversificación de productos. La presente revisión tiene por objetivo resaltar la importancia del pavo para el mexicano y los cambios en el consumo de su carne, así como el potencial que presenta, vista desde una pequeña y mediana empresas (PyMes) dedicadas a la producción de carne y elaboración de productos de valor agregado; del crecimiento, las oportunidades y potencial de mercado que tienen con la reinserción en la alimentación diaria.
Palabras clave: pavo, guajolote, producción, PyMes, producto, México, valor agregado.

Introducción

Cuando se habla de avicultura se piensa la producción de carne de pollo y huevo, rara vez se contempla la producción de pavos, patos, avestruces, entre otros; sin embargo, el consumo de pavo o guajolote era un elemento base de la alimentación del mexicano, por no decir la principal antes de la conquista. La avicultura del continente americano tuvo un gran cambio con la conquista ya que traían diversos animales como los caballos, cerdos, ovejas, cabras, vacas y las gallinas, además de los métodos de crianza para cada especie que en poco tiempo desplazo a las especies nativas [1], pero a pesar del tiempo su crianza y consumo se han mantenido y en años recientes ha aumentado gracias a la diversificación de subproductos y productos con valor agregado que se adaptan al estilo de alimentación actual y las nuevas tendencias.

El guajolote presente en todo

Desde la época prehispánica el guajolote y su crianza era de gran importancia para los mexicanos, era una carne destinada a las personas con un rango alto [1] así como el consumo de sus huevos [2] era parte de la cultura y simbolismo de diferentes pueblos indígenas. Perezgrova recolecta distintos códices (códice Florentino y Tro-Cortesiano) en los que se evidencia la interacción de los pueblos en la domesticación de esta ave [3]; los usos de sus plumas, carne y órganos como remedio medicinal (Corona, 2002) como incluso su relación con el Dios *Tezcatlipoca*, la deidad *Chalchiuhtotolli* [3] y algunas características de su crianza; existen registros de su empleo en platillos como el pastel de ave y tortillas de huevo, su venta viva o muerta [2]. Conocimiento y/o costumbres que se mantienen en tradiciones y festividades (baile del guajolote en bodas) y guisados en celebraciones de santos, hasta el presente.

¿Guajolote o pavo?

Si bien los ocupamos como sinónimos, podemos encontrar que se acuña el término guajolote que viene del nahual "*huexolotl*" (monstruo grande) para las aves silvestre nativas de México y el termino pavo se utiliza para nombrar a los guajolotes domésticos provenientes del norte de América [4] pero poca atención o importancia se da al hecho que el guajolote ya era un animal domesticado y con métodos de crianza antes de conquista, en años posteriores a esta las investigaciones de Sahagún y Hernández lo denomino "gallina de tierra" y a las gallinas que trajeron de Europa "gallinas de Castilla" con el fin de diferenciarlas en los escritos, esta última considerada de bajo valor a comparación con el ganado vacuno, permitieron que toda la población tuviera acceso a ellas, favoreciendo su crianza [2]. En los diversos estudios como el de Camacho-Escobar utilizan el termino pavo para definir a las aves que poseen características genéticas favorables para la producción, [5] han determinado diferencias genotípicas y fenotípicas entre los guajolotes silvestres y domésticos, como el tamaño, el peso, tiempo de crecimiento, numero de huevos, mortalidad de pavipollos, entre otras características [4].

Abriendo paso, lentamente

En los últimos años han aumentado su producción y mercado, para el año 2017 la Unión nacional de avicultores (UNA) [6]y el Consejo mexicano de la carne reportaron la participación porcentual de la producción de pavo en la producción pecuaria siendo 0.1%; para el año 2022 esta participación fue de 0.2% [7]; un aumento que es constante; en 2019 el

consumo *per capita* fue de 1.38, es decir 173 mil toneladas; [8] en 2021 el consumo *per capita* fue de 1.4, es decir 181 mil toneladas, si bien el mayor consumo es estacional, el consumo durante el resto del año lo podemos ver principalmente en embutidos, pero cada vez es más común encontrar otros subproductos y/o productos con valor agregado, que bien la diversidad de estos últimos ha aumentado con los años, al punto de poder brindar más de 25 opciones diferentes y de fácil preparación [9].

Nuevas oportunidades de mercado

El consumo de pavo o guajolote entero se acostumbra para festividades, principalmente decembrinas, en años recientes y gracias al incremento de población extranjera, principalmente estadounidenses, en el año 2022 se duplico la cifra de tarjetas residentes que del 2020 [10], lo cual amplia el mercado para el *thanksgiving* y demanda tener pavo de preferencia sin congelar [11]. En 2020, debido a la pandemia la población migro a una alimentación más saludable [12], con el objetivo de reforzar el sistema inmune, se realizaron difusiones sobre alimentos, dietas para regresar a lo natural, eliminando los productos procesados, resaltando las bondades de la dieta tradicional mexicana destacando el consumo de verduras, frutas y productos de origen animal nativos de México y de preferencia locales creando manuales de referencia y promoviendo su difusión [13].

Las empresas productoras de pavo han diversificado su mercado con nuevas opciones de fácil y rápida preparación, la tendencia por alimentos saludables, nutritivos, reducidos en sodio y grasas, como una opción para diversificar el menú de los mexicanos [14]. La diversificación de productos de pavo con valor agregado inicio con los embutidos como el jamón y la salchicha, pero tanto grandes, medianas y pequeñas empresas han agregado a la lista productos como: medallones, fajitas, boloñesas, hamburguesas, albóndigas, arrachera, molida, milanesas, pavito pibil, barbacoa, sin contar las opciones marinadas, los cortes y las versiones ahumadas. En años anteriores estos productos no tenían un fácil acceso y eran considerados gourmet o selectos, actualmente se encuentran en tiendas de autoservicio, comerciales y hasta en mercados locales denominados mercados orgánicos o naturales y en restaurantes como platillos comunes.

PyMes dedicadas a la producción de pavo y subproductos

Las Pymes que se dedican a la producción de pavo tienen un crecimiento constante y favorecedor con la elaboración y promoción de productos con valor agregado, esto se traduce en nuevos empleos directos e indirectos, al mantener producciones constantes, adicionando nuevas áreas como sala de transformación, preparación, empaquetado, promoción y venta; sin contar la necesidad de capacitación en materia de inocuidad y normatividad, algunas PyMes reportaron un crecimiento del 200% o más en la venta de estos productos, han pasado de procesar 25 canales a 150 [15] o de tres a siente canales en las empresas más pequeñas. La necesidad de expansión como nuevas unidades de producción, equipo, instalaciones se ha sentido en los últimos años. Los nuevos empleos han integrado a familias, ya que la elaboración de productos en PyMes es de manera tradicional o artesanal, en donde mujeres, personas de la tercera edad y personas con discapacidad tienen una oportunidad laboral, beneficiando su economía y la inclusión. El crecimiento de estas Pymes se ha destacado por su esfuerzo, compromiso y el apego a la normatividad e inocuidad, las nuevas tendencias de alimentación y de economía, como una alimentación más sana, consume local, una alimentación más natural; la concientización sobre el reforzamiento el sistema inmune y la nutrición a raíz de lo pasado con el virus de COVID-19, el aumento de residentes extranjeros son oportunidades que ayudaran a crecer a la meleagricultura. [13]

Conclusión

La meleagricultura ha mostrado una gran resistencia al paso del tiempo, es en años recientes que ha cobrado mayor fuerza, que comienza a destacar en la producción y hacer presencia en los anaqueles de nuestro supermercado más cercano, ha formar parte de la alimentación con mayor frecuencia tanto por sus propiedades, beneficios y facilidad de preparación con las nuevas opciones de productos, que incluso pueden estar listos de 10-20 min., adaptándose al estilo de vida actual, retomemos un poco de nuestra alimentación nativa.

Referencias

[1] L.-N. P. J.-S. M. K. J. V.-D. M. Camacho-Escobar M., «Avicultura indígena mexicana: Sabiduría milenaria en extinción,» *Actas Iberoamericanas de conservación anima,* vol. 1, pp. 375-379, 2011.

[2] C. M., Las aves en la historia natural novohispana, Mexico: Instituto Nacional de Antropología e Historia. México, 2002.

[3] S. E. P. J. Perezgrova R., «Presencia del guajolote mexicano en los códices prehispánicos, en las crónicas coloniales y etnozootecnia actual,» *El guajolote nativo de México: estudios recientes y perspectivas,* vol. 1, pp. 1-29, 2020.

[4] R. I. S. Camacho-Escobar M. Hernandez V., «Characterization of backyard guajolotes (meleagris gallopavo gallopavo) in tropical zones of mexico,» *Livestock research for rural development,* vol. 20, nº 50, 2008.

[5] Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera, «¡Será pavo o Guajolote?,» Gobierno de México, 03 mayo 2016. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/siap/articulos/sera-pavo-o-guajolote. [Último acceso: 04 04 2023].

[6] U. N. d. avicultores, «Compendio de indicadores economicos del sector avícola 2018,» Unio Nacional de Avicultores, Mexico, 2019.

[7] E. E. d. Comecarne, «Produccion de,» Consejo mexicano de la carne, Mexico, 2022.

[8] U. N. d. Avicultores, «Producción de pavo en México sube 10% en 2019,» Unión Nacional de Avicultores, México, 2019.

[9] I. N. Avícola, «Pavo para todo el año,» Instituto Nacional Avícola, México, 2023.

[10] C. Español, «Muchos estadounidenses se establecen en la Ciudad de México,» *CNN Latinoamerica,* p. 1, 10 febrero 2023.

[11] S. S., «Consejos para comprar el mejor pavo para la cena,» *El Heraldo de Chihuahua,* p. 1, 8 diciembre 2021.

[12] E. e. d. Comecarne, «Las ventajas de consumir carne de pavo,» Consejo Mexicano de la carne, México, 2019.

[13] P. I., «Dieta mexicana, alimentación sana en tiempos de coronavirus,» Ciencia UNAM-DGDC, México, 2021.

[14] G. M. S. J. A. E. G. P. G. J. Soto M, «Consumo de carne y pescado en población mediterranea,» *Nutrición Hospitalaria,* vol. 26, nº 5, pp. 1033-1040, 2011.

[15] O. d. l. N. U. p. l. A. y. l. A. (FAO), «Mujeres de Milpa Alta aumentan ventas en el mercado de productores en México,» FAO, México, 2018.

AVEM
Aviespecialistas de México

POTENCIAL DEL ÁCIDO TARTÁRICO EN COMBINACIÓN CON LA RADIACIÓN NO IONIZANTE PARA LA REDUCCIÓN DEL CONTENIDO DE AFLATOXINAS EN EL MAÍZ DESTINADO PARA LA INDUSTRIA AVÍCOLA

Claudia Aránzazu Alcantar-Barrios[1], María de Jesús Nava-Ramírez[1*], Alma Vázquez-Durán[1], Abraham Méndez-Albores[1]
[1]UNAM-FES Cuautitlán. Unidad de Investigación Multidisciplinaria. L14 (Alimentos, Micotoxinas y Micotoxicosis)
mari_551293@comunidad.unam.mx

Resumen

Se evaluó el efecto de un tratamiento químico en combinación con un tratamiento físico sobre la estabilidad de las aflatoxinas tipo B (AFB_1 y AFB_2), el pH, la composición y las propiedades nutrimentales del maíz (tamaño de partícula <420 µm) contaminado con aflatoxinas (140 ng/g). Las muestras de maíz fueron tratadas con ácido tartárico en tres niveles y, posteriormente, tratadas térmicamente en un sistema con acoplamiento de radiación por microondas e infrarrojo. El contenido de humedad (CH) del maíz se ajustó a dos niveles (35 y 40%) adicionando el ácido tartárico al 0, 2 y 4 % (*p*/*p*). Los efectos de las dos variables (CH y concentración de ácido orgánico) se analizaron como un diseño factorial 2×3 completamente al azar. En general, la combinación de la radiación no ionizante con el CH y la concentración de ácido tartárico afectó significativamente ($P<0.01$) el grado de reducción de las aflatoxinas en el maíz procesado. El contenido de aflatoxinas disminuyó significativamente con un aumento en el CH y la concentración de ácido tartárico ($P<0.01$). El porcentaje máximo de aflatoxinas degradadas en el maíz estuvo en el rango de 43 a 87%. Aun cuando se utilizó un tiempo bastante corto en el tratamiento térmico (3 min), se obtuvieron valores de pH y CH aceptables en el maíz procesado. Finalmente, todas las muestras de maíz presentaron un análisis composicional y propiedades nutrimentales adecuadas posterior al tratamiento fisicoquímico. De acuerdo con estos resultados, la inactivación fisicoquímica parece ser un método prometedor para la degradación de las aflatoxinas en el maíz destinado para la industria avícola.
Palabras Clave: maíz, *Aspergillus flavus*, aflatoxinas, sistema acoplado microondas-infrarrojo, ácido tartárico.

Abstract

To evaluate the effect of acidification in combination with a non-ionizing radiation treatment on the stability of B-aflatoxins (AFB_1 and AFB_2), samples of maize flour (particle size of <420 µm) contaminated with B-aflatoxins (140 ng/g) were chemically treated with tartaric acid at three different levels, and subsequently, thermally-treated in a microwave-infrared coupled system. The flour moisture content (MC) was adjusted at 35 and 40% by means of aqueous tartaric acid at 0, 2 and 4% (*w*/*w*). The effects of the two variables (MC and organic acid addition) were analyzed as a completely randomized factorial 2×3 design. The combination of non-ionizing radiation with MC and tartaric acid, significantly affected ($P<0.01$) the extent of aflatoxins reduction in the processed maize. The recovered aflatoxins decreased with an increase in MC and tartaric acid content ($P<0.01$). The maximum percentage of aflatoxins degraded in the physicochemically treated milled maize ranged from 43 to 87%. Even when using a short time during the thermal treatment (3 min), acceptable pH and MC in the processed flours were obtained. Finally, all samples presented an adequate compositional analysis and nutritional properties after the physicochemical treatment. According to these results, physicochemical inactivation appears to be a promising method for aflatoxin degradation in maize destined for the poultry industry.
Key Words: maize, *Aspergillus flavus*, aflatoxins, infrared–microwave coupled system, tartaric acid.

Introducción

En México, el maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales más importantes tanto para el consumo humano como animal. En el año 2021, la producción global de maíz grano creció a 1216 millones de toneladas, y México ocupó el séptimo lugar de producción mundial superando los 27 millones de toneladas [1]. Las variedades e híbridos de maíz se cosechan todo el año bajo diversas condiciones climáticas; por lo tanto, el manejo precosecha y poscosecha varía entre zonas geográficas, lo que afecta significativamente la calidad de los productos a base de maíz. Desafortunadamente, el maíz es invadido por hongos durante su desarrollo en el campo, así como durante el transporte y el almacenamiento; en consecuencia, uno de los factores que afecta la calidad sanitaria de los alimentos elaborados con este grano es la contaminación por micotoxinas

las cuales son producidas por ciertas especies de hongos, entre ellos *Aspergillus flavus* [2]. *A. flavus* es responsable de la producción de una serie de sustancias altamente tóxicas, de donde derivan su nombre: aflatoxinas. Se conocen veinte tipos de aflatoxinas; sin embargo, por orden de importancia, la principales son: la aflatoxina B_1 (AFB_1), la aflatoxina B_2 (AFB_2), la aflatoxina G_1 (AFG_1), y la aflatoxina G_2 (AFG_2). La AFB_1 es ampliamente estudiada debido a que es un potente hepatotóxico, hepatocarcinógeno, teratógeno y mutágeno de origen natural [3]. Los efectos de las aflatoxinas son similares en todos los animales; sin embargo, la susceptibilidad varía entre especies, edad, raza, sexo, y estado nutricional. La susceptibilidad de las aves frente a las aflatoxinas tiene una gran variación, reconociendo a los patos como los más susceptibles, seguidos los pavos y las codornices, y los pollos como los menos susceptibles [4, 5]. La aflatoxicosis (intoxicación por aflatoxinas) se caracteriza por trastornos metabólicos, rechazo del alimento, alteración del índice de conversión alimenticia, disminución de la ganancia de peso, alteración en la adsorción de nutrientes, disminución del peso corporal e inmunosupresión, lo que conlleva a pérdidas económicas considerables. En este contexto, el alimento contaminado con aflatoxinas hoy en día es considerado un problema económicamente importante en el sector avícola. Además, el consumo prolongado de AFB_1 se refleja en la calidad de otros alimentos como el huevo y la carne, lo que conlleva a un peligro potencial en la salud pública [6, 7]. Debido a esto, se han desarrollado diversas estrategias para evitar la presencia de las aflatoxinas en la cadena alimentaria basadas en mecanismos químicos, biológicos, y físicos; sin embargo, la prevención continúa siendo la medida más eficaz, aunque es muy difícil de lograr, dado que, las aflatoxinas son moléculas altamente estables. Es por esta razón que, es difícil aplicar tratamientos físicos o químicos sin que éstos lleguen a modificar la calidad nutricional de los alimentos. Por lo tanto, se han propuesto procedimientos de degradación prácticos y económicos; dichos procedimientos no solo deben reducir el contenido de micotoxinas a niveles "seguros" (por debajo de los límites permitidos), sino que también deben tener las siguientes características: fáciles de usar, económicos, libres de la posibilidad de formar compuestos más tóxicos o comprometer el valor nutricional del producto tratado [8].

En las tecnologías modernas de fabricación de alimentos, las materias primas se someten a tratamientos térmicos para mejorar la calidad de los productos procesados. Los tratamientos térmicos a nivel industrial degradan las micotoxinas hasta cierto punto durante el procesamiento. Sin embargo, la predicción de la reducción de las micotoxinas en relación con el tratamiento térmico depende de varios factores, que incluyen: el tipo y contenido de micotoxina, el grado de "unión" entre las micotoxinas y los constituyentes del alimento, la penetración del calor, el contenido de humedad, el pH, y las condiciones de procesamiento. No obstante, el tratamiento térmico es un mecanismo factible para reducir el contenido de micotoxinas en los alimentos. La radiación no ionizante, incluida las microondas (MO) y los infrarrojos (IR), ofrecen otras ventajas sobre el calentamiento convencional en condiciones similares. Por lo tanto, se ha demostrado que la integración de MO-IR con otros procesos abre nuevas opciones de descontaminación de alimentos. Previamente, nuestro equipo de trabajo realizó estudios que señalan que algunos ácidos orgánicos (cítrico y láctico) tienen un efecto destoxificante para tratar alimentos contaminados con aflatoxinas [9, 10]. Sin embargo, a la fecha, no se ha evaluado el uso del ácido tartárico en combinación con este método de procesamiento térmico (MO-IR) para inactivar a las aflatoxinas en el maíz contaminado destinado al consumo animal. En consecuencia, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la aplicación de un tratamiento químico (acidificación con ácido tartárico acuoso) en combinación con un método físico (calentamiento con MO-IR) sobre la descontaminación de las aflatoxinas, y las propiedades fisicoquímicas, composicionales, y nutrimentales del maíz tratado, en un intento por desarrollar procedimientos de degradación prácticos, sencillos, económicos y respetuosos con el ambiente para la recuperación de materias primas contaminadas con aflatoxinas.

Materiales y Métodos

Precauciones de seguridad

Los procedimientos utilizados para la manipulación y descontaminación de los materiales contaminados con aflatoxinas se adoptaron a partir de las recomendaciones publicadas por la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer [11].

Reactivos

El ácido DL-2,3-dihidroxibutanodioico o tartárico (≥ 99.9% de pureza, fórmula química $C_4H_6O_6$, peso molecular 150.09 g/mol) se obtuvo de Sigma Chemical Co. Ltd. (St. Louis, MO, USA). Todos los productos químicos utilizados fueron de grado reactivo analítico.

Grano de maíz

Se utilizó grano de maíz comercial AS-900 (Aspros Comercial, Cortázar, Guanajuato, México), libre de aflatoxinas, el cual fue cultivado y cosechado en Celaya-Guanajuato, México, con 11.12 ± 0.01% de contenido de humedad (CH) y un valor de pH de 6.02. En la Tabla 1 se muestran las propiedades fisicoquímicas, composicionales y nutricionales del grano de maíz.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas, composicionales y nutricionales del grano de maíz (AS-900).

Propiedad	Maíz (AS-900)
Fisocoquímica	
Contenido de humedad (%)	11.12 ± 0.01
pH	6.02 ± 0.001
Composicional (%)	
Proteínas	8.34 ± 0.02
Lípidos	3.60 ± 0.02
Cenizas	0.81 ± 0.05
Fibra cruda	2.28 ± 0.03
Sacáridos	84.97 ± 0.13
Nutricional	
Lisina (g/kg)	24.95 ± 0.37
Triptófano (g/kg)	2.98 ± 0.09
Digestibilidad *in vitro* de la proteína (%)	75.24 ± 2.04

Medias de tres repeticiones ± error estándar. La composición proximal está expresada en base seca. Los sacáridos se determinaron por diferencia: 100 - Σ (proteína + lípidos + cenizas). La lisina y el triptófano se expresaron por kilogramo de proteína.

Aislamiento fúngico

La cepa del hongo *A. flavus* UNIGRAS-1231 (Colección de Cultivos de la Unidad de Investigación de Granos y Semillas de la Universidad Nacional Autónoma de México), se inoculó en cajas Petri con medio de cultivo Malta-Sal-Agar a 27°C durante 7 d. Esta cepa tiene la capacidad de producir AFB_1 y AFB_2, siendo la AFB_1 la más abundante representando hasta el 97% del contenido total de aflatoxinas [10].

Técnica de inoculación

Para inocular el grano de maíz se retiraron las esporas del hongo con una espátula. Se preparó una suspensión de esporas en agua estéril (2.1 L) con aproximadamente 100,000 conidios/mL y se usó para elevar el CH del grano. Esta cantidad de inóculo (≈8500 esporas/g de maíz) se determinó para eliminar la competencia con otros hongos de almacenamiento que potencialmente pueden crecer en las condiciones de incubación, de humedad y de temperatura empleadas. El CH del grano de maíz se ajustó a 18% y el grano se almacenó en contenedores de plástico (5 kg de maíz por repetición). Los contenedores se cubrieron con una película de polietileno para minimizar la pérdida de humedad del grano; sin embargo, a cada película se le realizaron diez perforaciones con un alfiler para evitar la acumulación de dióxido de carbono generado

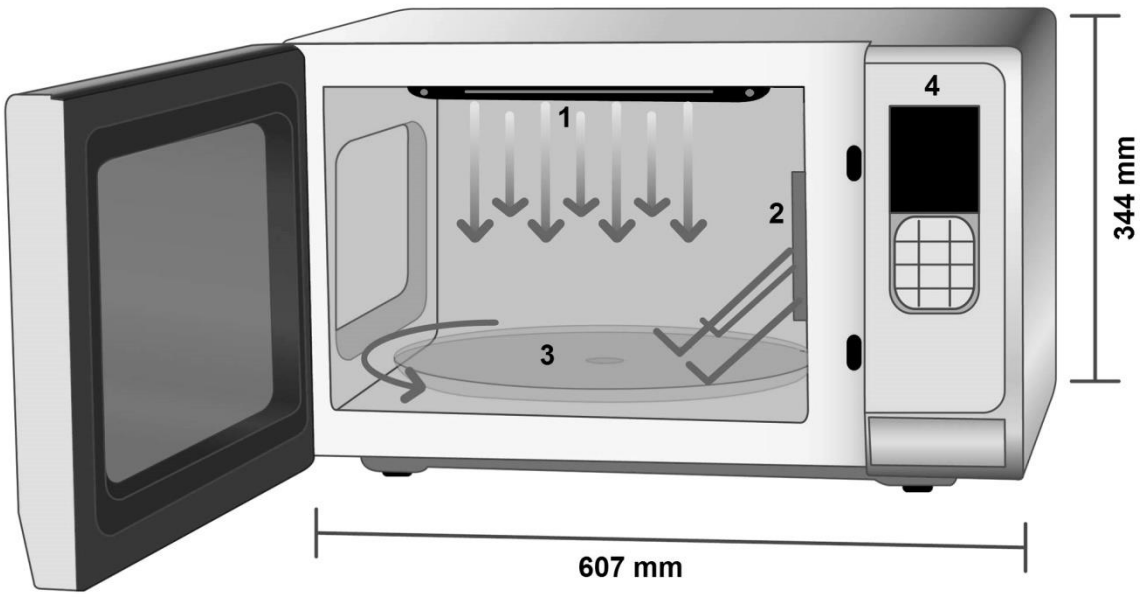
por la respiración de los granos y los hongos. Los contenedores se incubaron a 27°C durante 14 d. Después del período de incubación, el grano se sometió a una atmósfera de óxido de etileno a una concentración de 1000 mg/L durante 5 h, para detener el desarrollo del hongo y evitar la dispersión de esporas viables [8]. Finalmente, el grano se secó hasta aproximadamente 11.5%, se molió en un molino (Pulvex-200, malla 40, Pulvex S.A. México) para obtener un tamaño de partícula <420 µm y éste se almacenó a 4°C para su posterior análisis.

Preparación de las muestras para la descontaminación de las aflatoxinas

Tratamiento químico: El CH de cada unidad experimental (1000 g de maíz) se ajustó al 35 y 40% mediante la adición de 367.5 ó 481.5 mL de agua destilada con 0, 20 ó 40 g de ácido tartárico. Las muestras se mezclaron a baja velocidad durante 15 min en un mezclador (modelo C-100, Hobart Corp. Troy, OH, USA). Posteriormente, las muestras se transfirieron a bolsas de polietileno opacas y se almacenaron a 4 °C durante 72 h para equilibrar la humedad.

Tratamiento físico: Se utilizó un horno combinado de MO-IR diseñado y fabricado por la UNAM-FESC (Figura 1). Este horno incluye una fuente de infrarrojo cercano (NIR) además de un diseño clásico de horno de microondas. La lámpara de halógeno ubicada en la parte superior operó a 1300 W, y la potencia de salida del magnetrón fue de 1650 W. Al igual que en los sistemas tradicionales de MO, el sistema cuenta con un plato giratorio para mejorar la uniformidad del calentamiento dentro de la cavidad (capacidad interna: 2 pies^3). La muestra se colocó en el centro del plato giratorio en un recipiente de vidrio resistente a la radiación y el tratamiento térmico se realizó con una potencia de cocción del 100% durante 3 min. Solo se sometió a tratamiento una muestra (1000 g) a la vez. Las muestras procesadas se reposaron durante 1 h a temperatura ambiente y se almacenaron a 4 °C hasta su posterior análisis.

Figura 1. Esquematización del horno combinado MO-IR-. Lámpara de halógeno superior (1), microondas (2), plato giratorio (3) y control digital (4).



Cuantificación de las aflatoxinas

La cuantificación de aflatoxinas se llevó a cabo de acuerdo al método 991.31 de la AOAC [12], utilizando columnas de inmunoafinidad con anticuerpos monoclonales para AFB_1 y AFB_2. Las muestras (50 g) se extrajeron con 100 mL de metanol-agua (80:20, v/v) y 5 g de NaCl usando una licuadora de laboratorio modelo 51BL30 (Waring, CT, USA). La mezcla se filtró a través de un papel filtro Whatman 1 y 5 mL se diluyeron en 20 mL de agua destilada. La preparación diluida se filtró a través de un filtro de microfibra, y 10 mL se pasaron por la columna de inmunoafinidad (Afla B, VICAM Science Technology, Watertown, MA, USA). Posteriormente, la columna se lavó dos veces con 10 mL de agua destilada y se secó con flujo de

aire estéril. Las toxinas se eluyeron con 1 mL de metanol grado HPLC y se cuantificaron en un fluorómetro VICAM Series-4EX (VICAM Source Scientific, Irvine, CA, USA), después de reaccionar con 1 mL de bromo acuoso al 0.002%. El límite de detección de aflatoxinas a través de la medición de fluorescencia es de aproximadamente 0.5 ng/g. Cuando el contenido total de aflatoxinas fue superior a 25 ng/g, se realizaron diluciones de los extractos antes de pasarlos por la columna de inmunoafinidad. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

Comprobación de la recuperación de las aflatoxinas

El rendimiento del método 991.31 AOAC se evaluó mediante el porcentaje de recuperación de aflatoxinas utilizando el método HPLC en harinas de maíz enriquecidas con aflatoxinas, inyectando cuatro réplicas de seis contenidos diferentes de aflatoxinas (de 0.78, 1.56, 3.13, 6.25, 12.50 a 25 ng/g). Se utilizó un equipo Waters HPLC con dos bombas (Modelo 510. Waters Associates, Milford, MA), y una columna de fase reversa Waters nova-pak C_{18} (5 µm, 3.9 mm, 150 mm). Las muestras provenientes de las columnas de inmunoafinidad (20 µL) se inyectaron en el HPLC y se eluyeron isocráticamente con una fase móvil de ácido acético:acetonitrilo 12.5 mN (1:1, v/v) a una velocidad de flujo de 1 mL/min. Las aflatoxinas se detectaron fluorométricamente usando un detector de fluorescencia (Waters modelo 470), las longitudes de onda de excitación y emisión fueron 338 y 425 nm, respectivamente. Las aflatoxinas se identificaron por su tiempo de retención (Rt), en comparación con los de una solución de aflatoxina estándar en condiciones idénticas. La recuperación de las aflatoxinas para el método de columna de inmunoafinidad fue de 92 %, con un error estándar de 1.2 y un coeficiente de variación de 4.4 %.

Propiedades fisicoquímicas

pH

El pH se determinó según el método AOAC 943.02 (AOAC, 2000). Brevemente, se suspendieron 10 g de muestra en 100 mL de agua destilada recién hervida. La suspensión se agitó (25 Hz, 25 ºC, 30 min) con un agitador orbital (Cole Parmer Model 21704-10, Vernon Hills, Illinois, USA). Después de 10 min, se decantó el líquido sobrenadante y se determinó inmediatamente el pH utilizando un medidor de pH, Modelo PC45 (Conductronic, Puebla, México). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

Análisis composicional

Los siguientes análisis se realizaron por triplicado: CH (secado a 105 ºC durante 24 h); cenizas (incineración a 550 ºC); proteína cruda (micro-Kjeldahl, N × 6.25); grasa cruda (desgrasado en equipo Soxhlet con hexano); y fibra cruda (hidrólisis ácida y alcalina), siguiendo los métodos oficiales 925.10, 923.03, 960.52, 920.39C y 962.09E, respectivamente [12].

Propiedades nutricionales

Lisina

El análisis de lisina se realizó mediante el método descrito por López-Cervantes et al. [13] utilizando cromatografía de líquidos de alta resolución (Alliance® HPLC, Waters Associates, Milford, Massachusetts, USA), equipado con una columna de fase reversa Waters nova-pak C_{18} (4 µm, 3.9 mm × 150 mm) mantenida a 38ºC. Se hidrolizaron muestras de harina (50 mg) a 110°C con 10 mL de HCl 6 mol/L durante 24 h. La muestra hidrolizada se filtró y el extracto se diluyó 200 veces con agua milliQ (EMD Millipore, Billerica, Massachusetts, USA). Una alícuota de 300 µL del extracto se secó y se derivatizó con la misma cantidad de 9-fluorenilmetil-cloroformiato (FMOC). Se inyectaron cantidades idénticas de estándar y de muestra (20 µL) en el HPLC y se eluyeron con una fase móvil de 30 mmol/L de fosfato de amonio (pH 6.5) en metanol/agua 15:85 (v/v); 15:85 (v/v) metanol/agua; y acetonitrilo/agua 90:10 (v/v), a una velocidad de flujo de 1.2 mL/min. La lisina se detectó e identificó fluorométricamente usando un detector de fluorescencia (Waters modelo 2475); las longitudes de onda de excitación y emisión fueron 270 y 316 nm, respectivamente.

Triptófano

El análisis de triptófano se realizó mediante un método colorimétrico. Las muestras de harina se desengrasaron con hexano en un extractor continuo tipo Soxhlet durante 6 h. Después de la evaporación con hexano, se llevaron a digestión 80 mg de muestra utilizando 3 mL de una solución de papaína de 4 mg/mL en 0.165 mol/L de acetato de sodio. Los tubos

se incubaron a 65ºC durante 16 h, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se centrifugaron a 3600×*g* durante 10 min. Posteriormente, se transfirió cuidadosamente 1 mL del sobrenadante a un tubo limpio, y 3 mL del reactivo colorimétrico (0.1 mol/L de ácido glioxílico en 3.5 mol/L de H_2SO_4 + 1.8 mmol/L de $FeCl_3 \cdot 6H_20$ + 15 mol/L de H_2SO_4) fue añadido. Las muestras se agitaron en un vortex (Genie Scientific Industries, Bohemia, NY, USA), se incubaron a 65 ºC durante 30 min y luego se dejaron enfriar a temperatura ambiente antes de leer su absorbancia a 560 nm en un espectrofotómetro (Beckman-Coulter DU-530 UV-visible (Beckman-Coulter, Brea, California, USA). Se construyó una curva de calibración utilizando triptófano estándar (Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, USA). Ambos aminoácidos (lisina y triptófano) se analizaron por triplicado.

Digestibilidad *in vitro* de la proteína

La digestión *in vitro* de la proteína (PD) se realizó utilizando el método AOAC 982.30G [12]. Se utilizó una mezcla multienzimática compuesta por tripsina pancreática porcina tipo IX, peptidasa intestinal porcina grado I, α–quimotripsina pancreática bovina tipo II y proteasa bacteriana (Sigma, St. Louis, Missouri, USA). Como control se utilizó caseinato de sodio (10 g suspendidos en 200 mL de agua destilada y ajustados a pH 8 con NaOH). Con muestras de harina y agua destilada se prepararon 10 mL de una suspensión acuosa de proteína (10 mg N) con pH ajustado a 8, y se incubaron en baño maría a 37ºC durante 1 h. La mezcla multienzimática se mantuvo en un baño de hielo y se ajustó a pH 8. Mientras se agitaba, se agregó 1 mL de la solución multienzimática a la suspensión de proteína y 10 min después de la adición, se agregó 1 mL de proteasa bacteriana y luego se transfirió al baño maría a 55ºC durante 9 min. Exactamente, 19 min después de la reacción, los viales se transfirieron de nuevo al baño a 37ºC. La caída rápida del pH se registró automáticamente durante un período de 20 min usando un medidor de pH (Conductronic). El porcentaje de digestibilidad se calculó de la siguiente manera:

$$PD = 234.84 - 22.56\ (valor\ de\ pH\ ) \qquad (5)$$

donde: 234.84 es la intersección y 22.56 es la pendiente en la ecuación de la regresión lineal.

Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se condujo como un diseño factorial 2×3 completamente al azar, y las seis condiciones experimentales se llevaron a cabo con tres repeticiones. Los datos se evaluaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y las comparaciones de medias se realizaron de acuerdo con la prueba de Tukey utilizando el Sistema de Análisis Estadístico (SAS Institute, Cary, Carolina del Norte, USA). Se utilizó un valor de significancia de α = 0.05 para distinguir diferencias significativas entre los tratamientos.

Resultados

El CH del maíz contaminado y el tratado con el ácido tartárico (antes del tratamiento físico) alcanzó los niveles deseados: los promedios fueron de 35.26 y 40.03%, para las muestras ajustadas al 35 y 40% CH, respectivamente. Estos valores de CH se consideraron estables durante todo el período de equilibrio (Tabla 2).

La Tabla 2 también muestra el CH del maíz procesado físicamente. Se observaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) en los valores de CH, las muestras procesadas sin acidificación presentaron los valores más bajos de CH (9.03 y 9.8% para las muestras ajustadas a 35 y 40 % de CH, respectivamente). Además, se registraron valores más altos para las muestras procesadas con la concentración máxima de ácido tartárico (4%, *p/p*), hasta 11.23 y hasta 10.84 %, para las muestras ajustadas a 35 y 40 % de CH, respectivamente. En general, a medida que aumentó la concentración de ácido tartárico, se registraron valores más altos de CH en el maíz tratado térmicamente. El procesamiento por combinación MO-IR provocó reducciones en el CH de alrededor de 70.3 y 73.7%, cuando el maíz se procesó a 35 y 40 % de CH, respectivamente. Después del enfriamiento, estas muestras se volvieron más vítreas y muy estables, pudiéndose almacenar adecuadamente, lo que facilitaría el proceso y disminuiría los costos operativos.
Por otra parte, el pH del maíz (datos no presentados) fue esencialmente el mismo que el registrado para las muestras tratadas térmicamente (Tabla 2). A medida que se aumentó la concentración de ácido orgánico, se observaron valores de

pH más bajos. Las muestras sin adición de ácido (control), presentaron un valor de pH promedio de 5.99, mientras que los valores de pH más bajos de 2.81 y 2.79 se observaron en las muestras procesadas con la adición de ácido tartárico al 4% (*p*/*p*), las cuales se ajustaron a 35 y 40% CH, respectivamente.

Tabla 2. Efecto del ácido tartárico en combinación con la radiación no ionizante (MO-IR) en las propiedades fisicoquímicas del maíz descontaminado.

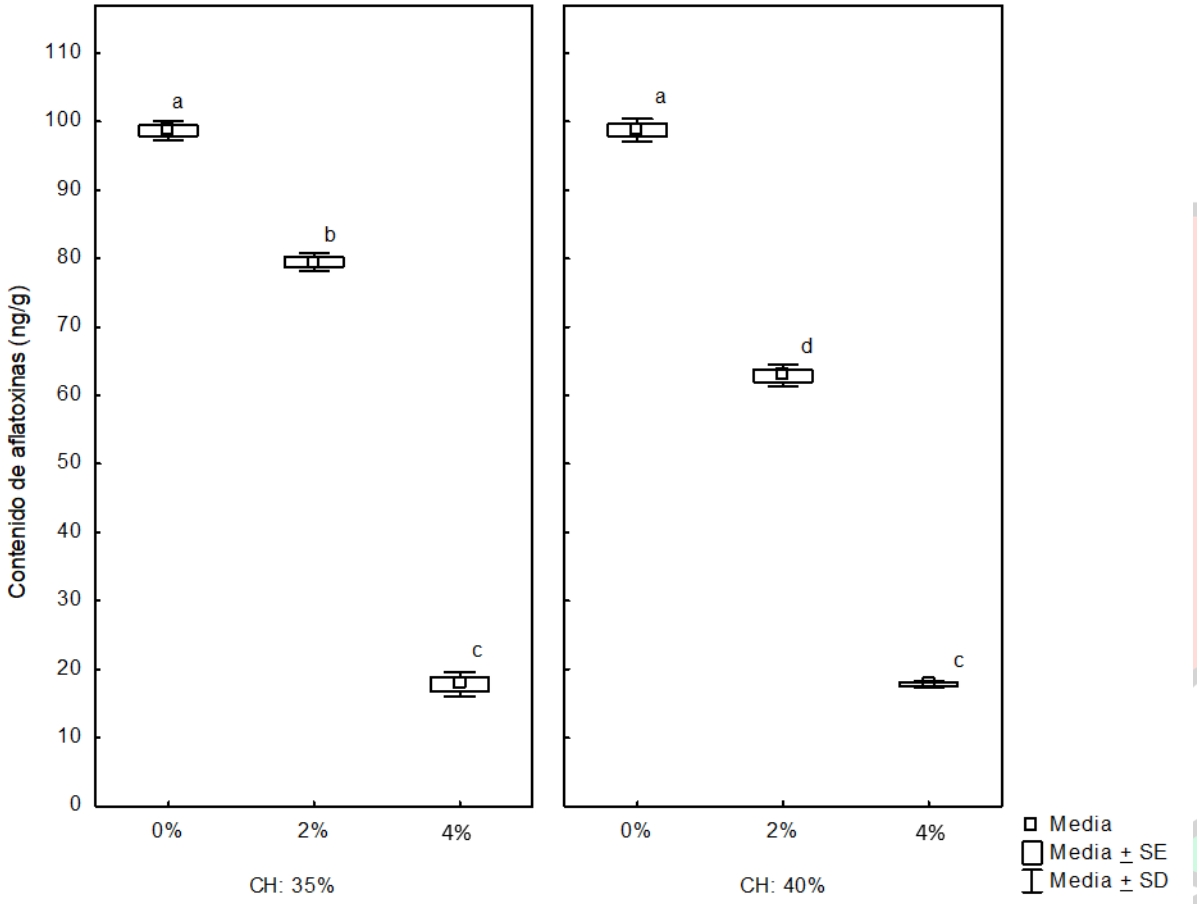
	Ácido tartárico	CH del maíz (%)		
Nivel de CH	(%, p/p)	Crudo	Procesado	pH
Ajustado a 35%	0	35.47 + 0.51	9.03 + 0.12[a]	5.99 + 0.004[a]
	2	35.08 + 0.27	11.12 + 0.07[b]	3.16 + 0.003[b]
	4	35.25 + 0.01	11.23 + 0.07[b]	2.81 + 0.002[c]
Ajustado a 40%	0	40.07 + 0.21	9.87 + 0.04[a]	6.00 + 0.004[a]
	2	39.93 + 0.02	10.89 + 0.03[c]	3.17 + 0.002[b]
	4	40.09 + 0.04	10.84 + 0.02[c]	2.79 + 0.005[c]

Medias de tres repeticiones ± error estándar.
Medias dentro de la misma columna, que no comparten un superíndice común difieren significativamente ($p < 0.05$).

Por otro lado, el método AOAC utilizado para cuantificar las aflatoxinas tipo B en el maíz dio como resultado buenas recuperaciones de aflatoxina (92% con un error estándar de 1.2 y un valor de coeficiente de variación de 4.4%), estos resultados indicaron que la metodología utilizada fue aplicable. El contenido total de aflatoxinas B cuantificado en el grano de maíz inoculado fue de 140 ng/g (136 ng AFB_1/g). En general, la cantidad de aflatoxinas B disminuyó a medida que se aumentó el CH y la concentración de ácido ($P<0.01$) en el maíz tratado (Figura 2). Las muestras sin adición de ácido (control) procesadas a 30 y 40% de CH presentaron un valor promedio de aflatoxina de 98.7 ng/g, lo que corresponde a una degradación de aflatoxina del 29.5%. Por otra parte. las muestras ajustadas al 35% de CH presentaron un valor de aflatoxina de 79.3 ng/g, lo que corresponde a una reducción de aflatoxina del 43.4 %. Por el contrario, las muestras de maíz ajustadas al 40% de CH tuvieron un contenido de aflatoxinas de 62.9 ng/g, lo que correspondió a una degradación de aflatoxinas del 55.1%. Además, se produjo un promedio de 87.4% de degradación de aflatoxinas en las muestras procesadas a 35 y 40 % de CH, con la adición de 4 % (*p*/*p*) de ácido tartárico; dichas muestras presentaron un contenido promedio de aflatoxinas de 17.7 ng/g (Figura 2).

AVEM
Aviespecialistas de México

Figura 2. Efecto del contenido de humedad (CH) y la adición de ácido tartárico en la reducción de aflatoxinas durante el tratamiento MO-IR.



Cajas y bigotes que no comparten un superíndice común difieren significativamente (P<0.05).

En la Tabla 3 se muestra el efecto del ácido tartárico en combinación con la radiación no ionizante (MO-IR), sobre el análisis composicional del maíz contaminado con CH de 35% y 40%. En general, el porcentaje de las proteínas, los lípidos, las cenizas, la fibra cruda, y los sacáridos de las muestras de maíz tratadas y no tratadas (control) con el ácido tartárico a los dos porcentajes de inclusión (2 y 4%), no tuvieron diferencias estadísticas significativas entre las muestras con un CH de 35% y 40%.

Tabla 3. Efecto del ácido tartárico en combinación con la radiación no ionizante (MO-IR) sobre la composición del maíz descontaminado con aflatoxinas (AS-900).

Nivel de CH	Ácido tartárico (%, *p/p*)	Proteínas (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)	Fibra cruda (%)	Sacáridos (%)
Ajustado a 35%	0	8.45 ± 0.14[a]	3.84 ± 0.12[a]	0.95 ± 0.01[a]	2.31 ± 0.01[a]	84.45 ± 0.12[a]
	2	8.19 ± 0.07[a]	3.59 ± 0.08[a]	0.88 ± 0.01[a]	2.29 ± 0.03[a]	85.05 ± 0.04[a]
	4	8.13 ± 0.17[a]	3.68 ± 0.01[a]	0.89 ± 0.01[a]	2.27 ± 0.01[a]	85.03 ± 0.07[a]
Ajustado a 40%	0	8.33 ± 0.03[a]	3.80 ± 0.05[a]	0.94 ± 0.02[a]	2.29 ± 0.04[a]	84.64 ± 0.11[a]
	2	8.16 ± 0.08[a]	3.69 ± 0.01[a]	0.91 ± 0.02[a]	2.28 ± 0.03[a]	84.96 ± 0.13[a]
	4	8.04 ± 0.18[a]	3.61 ± 0.01[a]	0.91 ± 0.03[a]	2.30 ± 0.02[a]	85.14 ± 0.09[a]

Medias de tres repeticiones ± error estándar.
Medias dentro de la misma columna, que no comparten un superíndice común difieren significativamente ($p < 0.05$).
La composición proximal se expresa en base seca.

Por otra parte, la Tabla 4 muestra el efecto del tratamiento fisicoquímico sobre las propiedades nutricionales del maíz. En cuanto al contenido promedio de lisina y triptófano, no hubo diferencia estadística significativa entre los tratamientos acidificados y procesados a 30 y 40% de CH. Las muestras sin la adición de ácido (control), procesadas a 30 y 40% de CH tampoco presentaron diferencias estadísticas significativas en el contenido de lisina y triptófano. Finalmente, se muestra la digestibilidad de la proteína del maíz, la cual no tuvo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos a los cuales se les agregó ácido tartárico (2 y 4%) con un CH de 35 y 40%. Sin embargo, este valor fue superior al observado en el maíz sin tratamiento.

Tabla 4. Efecto del ácido tartárico en combinación con la radiación no ionizante (MO-IR) sobre las propiedades nutricionales de maíz descontaminado con aflatoxinas.

Nivel de CH	Ácido tartárico (%, p/p)	Lisina	Triptófano	Digestibilidad de la proteína (%)
Ajustada a 35%	0	22.26 ± 0.63[a]	2.96 ± 0.01[a]	85.33 ± 0.12[a]
	2	21.64 ± 0.41[a]	2.88 ± 0.08[a]	85.67 ± 017[a]
	4	23.30 ± 0.29[a]	2.60 ± 0.13[a]	86.00 ± 0.09[a]
Ajustada a 40%	0	21.97 ± 0.12[a]	2.93 ± 0.11[a]	84.91 ± 0.15[a]
	2	24.00 ± 0.58[a]	2.70 ± 0.04[a]	85.76 ± 0.09[a]
	4	24.18 ± 0.86[a]	2.77 ± 0.09[a]	85.49 ± 0.11[a]

Medias de tres repeticiones ± error estándar.
Medias dentro de la misma columna, que no comparten un superíndice común difieren significativamente ($p < 0.05$).
Los contenidos de lisina y triptófano se expresan en gramos por kilogramo de proteínas.

Discusión

Es bien sabido que los ácidos orgánicos tienen una baja tendencia a liberar sus iones H^+ y se les asocia un fuerte sabor; en consecuencia, la suplementación con cantidades altas de ácidos orgánicos puede reducir el consumo de alimento debido a los cambios en la palatabilidad de la dieta. En esta investigación, la adición más alta de ácido tartárico al maíz (4%, *p/p*) podría ser tolerada con éxito por las aves, ya que la dilución de este material acidificado durante la preparación de la dieta podría ser una forma de reducir este efecto (Méndez-Albores et al. [9]; Salgado-Tránsito et al. [14] investigaron los efectos de diferentes niveles de ácido cítrico (0, 1.5 y 3%) sobre el rendimiento de cerdos mestizos al destete. En general, la adición de ácido cítrico mejoró la eficiencia alimenticia y la digestibilidad del calcio. Otros investigadores, concluyeron que los

ácidos orgánicos tienen un efecto positivo en el crecimiento, ya que la acidificación de la dieta aumenta la proteólisis gástrica y la digestibilidad de las proteínas al mejorar las actividades de las enzimas digestivas (Langhout, 2000). Además, los ácidos orgánicos también se conocen como conservadores efectivos que protegen a los alimentos almacenados contra el crecimiento indeseable de bacterias y de hongos y mejoran la calidad de los alimentos con el tiempo, lo que puede contribuir aún más a mejorar el rendimiento.

En el trabajo actual, se contaminó maíz con 140 ng/g de aflatoxinas; este valor total de aflatoxinas representa los contenidos que se pueden encontrar en el maíz comercial destinado al consumo animal, causando múltiples problemas de salud que incluyen: retraso en el crecimiento, lento aumento de peso, problemas respiratorios y reproductivos, diarrea, hemorragia, producción reducida de leche y huevos, inmunosupresión, con el consiguiente aumento de infecciones bacterianas y virales, incluso la muerte [4]. La degradación de aflatoxinas de las muestras sin adición de ácido (control) procesadas a 30 y 40% de CH, correspondieron a un 29.5%. Este porcentaje de degradación de las aflatoxinas podría deberse a que la radiación no ionizante en suficiente intensidad suele provocar un aumento de la temperatura, que suele ir acompañado de posibles cambios en la estructura química de las moléculas de aflatoxinas presentes en la matriz irradiada [16]. Sin embargo, es bien sabido que las aflatoxinas son relativamente estables al calor y no se destruyen por completo cuando se tratan térmicamente para producir alimentos, incluso cuando se utilizan temperaturas de hasta 200 °C durante la extrusión [9]. Por el contrario, las muestras ajustadas al 35% de CH presentaron una reducción de aflatoxina del 43.4 % y las ajustadas al 40% de CH tuvieron una reducción de aflatoxina del 55.1%. Esta notable diferencia en la reducción de aflatoxinas (12%) se debe principalmente al aumento del CH, ya que es bien sabido que una humedad más alta en combinación con valores de pH más bajos mejora la degradación de las aflatoxinas durante los tratamientos térmicos. Dado que el tiempo de residencia del producto fue de 3 minutos en este sistema experimental, las reducciones de las aflatoxinas tipo B (Figura 2), probablemente se deban a la combinación del tipo de radiación no ionizante (MO-IR), el CH y principalmente a la concentración de ácido tartárico que permitió el contacto con las aflatoxinas distribuidas a través de la harina de maíz favoreciendo la hidrólisis del anillo de lactona de las moléculas de aflatoxina [9]. Los informes en la literatura sobre el destino de las aflatoxinas usando esta combinación particular de tratamientos son aún escasos; sin embargo, se ha informado ampliamente sobre la degradación de aflatoxinas durante la extrusión con diferentes aditivos químicos. Cazzaniga et al. [17] reportaron que la extrusión de la harina de maíz a niveles bajos de AFB_1 (50 ng/g), fue parcialmente exitosa (10-25%) para la descontaminación con la adición de metabisulfito (1%) a temperaturas de 150 y 180°C, respectivamente. Independientemente del CH y la temperatura, se encontraron degradaciones del 25 % cuando se agregó metabisulfito de sodio, pero solo del 10 al 25 % sin el aditivo.

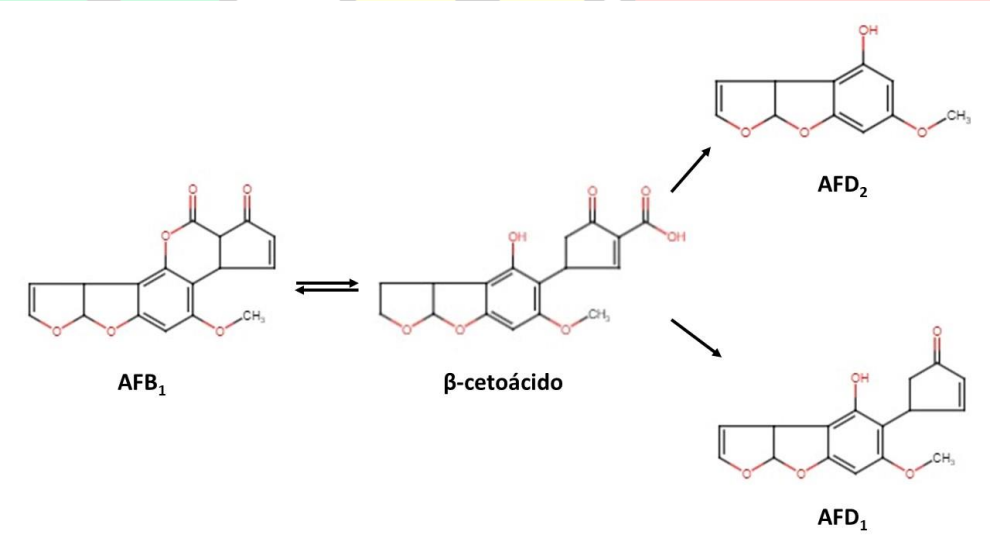
Estudios previos indican que se requieren temperaturas más altas y tiempos de residencia más largos para reducir significativamente los niveles de aflatoxinas durante el procesamiento de los alimentos. Méndez Albores et al. [10] reportaron una degradación de aflatoxinas del 86% en alimentos para patos tratados con ácido cítrico acuoso 1N. Pérez-Flores et al. [18] informaron valores de degradación de aflatoxinas de hasta el 84% en sémola de maíz tratada en un campo de microondas durante 5.5 min con la adición de 0.5 % (*p*/*p*) de hidróxido de calcio. Elías-Orozco et al. [19] informaron que la extrusión de maíz contaminado con AFB_1 (495 ng/g), AFM_1 (402 ng/g) y aflatoxina B_1-8,9-dihidrodiol (30.4 ng/g) a 87 °C redujo los niveles en 46, 20 y 53%, respectivamente. Sin embargo, altos niveles de estos reactivos afectaron negativamente la calidad del producto final. En otro estudio, se demostró que el amoníaco, ya sea como hidróxido al 0.7 y 1.0% o como bicarbonato al 0.4%, fue eficaz para reducir los niveles de aflatoxinas en más del 95% durante la extrusión a 105°C [20]. En relación con las reducciones de aflatoxinas mencionadas anteriormente, se observa que la desintoxicación de materiales contaminados varía considerablemente, dependiendo de los parámetros del proceso de extrusión, tales como: configuración del tornillo, contenido de humedad de la alimentación, perfil de temperatura en las secciones del barril, velocidad del tornillo, tasa de alimentación , tiempo de residencia, configuración final de la matriz, contenido inicial de aflatoxinas y el uso de aditivos. En la investigación actual, la adición de ácido tartárico (2%, *p*/*p*) en el maíz molido resultó en una mejora moderada en la degradación; sin embargo, se observó una reducción más notable (hasta 87.4%) cuando el maíz se trató con 4% (*p*/*p*) de ácido tartárico.

Finalmente, en el presente estudio, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en el análisis composicional y las propiedades nutricionales del maíz entre los tratamientos control y los acidificados con un procesamiento de CH de 35 y 40% (Tablas 3 y 4), excepto en la digestibilidad de la proteína, la cual se vio mejorada por efecto del procesamiento. Estos resultados son similares a los reportadas previamente por otros investigadores [8, 18]. En general, estos hallazgos nos permiten afirmar que el maíz después de ser tratado con acidificación y la radiación no ionizante (MO-IR) para la degradación de aflatoxinas tipo B, puede ser utilizado con seguridad como ingrediente en las dietas de las aves. Omogbenigun et al. [21] evaluaron el efecto de una dieta suplementada con ácidos orgánicos y fitasa microbiana en cerdos recién destetados, los autores demostraron que la dieta mejoró la digestión del fósforo y la digestibilidad de los aminoácidos en el íleon.

Mecanismo de degradación de AFB_1

La degradación de AFB_1 en las muestras de maíz puede deberse principalmente al tratamiento con ácido tartárico debido a que, en los procesos de acidificación, la estructura molecular de la AFB_1, principalmente el anillo de lactona se abre. En general, cuando la AFB_1 está en un medio ácido, se cataliza la reacción y da lugar a la formación de una estructura conocida como estructura β-cetoácido, seguida de la hidrólisis del anillo de lactona de la AFB_1, produciendo aflatoxina D_1 (Figura 3). La aflatoxina D_1 carece del grupo lactona debido a la descarboxilación de la forma abierta del anillo de lactona. Si el proceso de acidificación de la molécula de AFB_1 es más severo, se puede producir en menor cantidad un segundo compuesto, la aflatoxina D_2 . La aflatoxina D_2 retiene el difurano, pero carece tanto del carbonilo de la lactona como del anillo de ciclopentenona característicos de la molécula de AFB_1 (Figura 3). Con base en este mecanismo, se puede confirmar que la reacción entre el ácido tartárico y la AFB_1 conduce a la hidrólisis del anillo de lactona de la molécula de aflatoxina, generado dos compuestos con menor toxicidad que la estructura original.

Figura 3. Mecanismo propuesto para la degradación de AFB_1 por acción del ácido tartárico.



Conclusiones

En esta investigación, la radiación combinada de MO-IR, el CH y la adición de ácido orgánico afectaron significativamente la estabilidad de las aflatoxinas tipo B en el maíz tratado. Se encontraron contenidos menores de aflatoxinas tipo B (17.7 ng/g) en las muestras procesadas al 35% y 40% de CH con la adición de ácido tartárico al 4% (*p*/*p*). Debido al proceso de acidificación, la estructura molecular de la AFB_1 se alteró, dando lugar a dos compuestos con menor toxicidad que la estructura original. Suponiendo que se pudieran usar condiciones de procesamiento similares en el tratamiento del maíz contaminado con aflatoxinas para ser utilizado como ingrediente de alimentos balanceados para las aves, las reducciones de aflatoxinas tipo B que se esperarían estarían cercanas al 90%. Finalmente, este tipo de tratamiento fisicoquímico no afectó el análisis químico proximal ni las propiedades nutrimentales del maíz; sin embargo, mejoró la digestibilidad de la

proteína., Consecuentemente, esta metodología se podría escalar fácilmente a nivel industrial, evitando la restricción del tamaño que suelen imponer los sistemas domésticos de radiación MO-IR.

Referencias

[1] SIAP, «Servicio de Informacion Agroalimentaria y Pesquera [Agrifood and Fishery Information],» *https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/,* 2023.

[2] M. K. Saleemi, M.Z. Khan, A. Javed, I. Ulhasan, Z. Hameed, M.R. Hammed, and M.A. Mehmood, «Occurrence of toxigenic fungi in maize and maize-gluten meal from Pakistan,» *Phytopathologia Mediterranea,* vol. 51, pp. 219-224, 2012.

[3] V. Ostry, F. Malir, J. Toman y Y. Grosse, «Mycotoxins as human carcinogens—The IARC Monographs classification.,» *Mycotoxin Res.,* vol. 33, p. 65–73, 2017.

[4] S. Rawal, S. S. Yip, R. A. Coulombe Jr, « Cloning, expression and functional characterization of cytochrome P450 3A37 from turkey liver with high aflatoxin B1 epoxidation activity,» *Chemical Research in Toxicology,* vol. 23, nº 8, pp. 1322-1329, 2010.

[5] A. Dhakal y E. Sbar, «Aflatoxin Toxicity,» *StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing,* 2020.

[6] A. Gallo, G. Giuberti, J. C. Frisvard, T. Bertuzz, K. F. Nielsen, «Review on mycotoxin issues in ruminants: Occurrence in forages, effects of mycotoxin ingestion on health status and animal performance and practical strategies to counteract their negative effects,» *Toxins,* vol. 7, pp. 3057-3111, 2015.

[7] P. Vila-Donat, S. Marín, V. Sanchis, A. Ramos, «A review of the mycotoxin adsorbing agents, with an emphasis on their multi-binding capacity, for animal feed decontamination,» *Food and Chemical Toxicology,* vol. 114, pp. 246-259, 2018.

[8] A. Méndez-Albores, G.A. Villa, J.C. Del Río-García, E.M. Martínez, «Aflatoxin-detoxification achieved with Mexican Traditional Nixtamalization Process (MTNP) is reversible.,» *Journal of the Science of Food and Agriculture,* vol. 84, pp. 1611-1614, 2004.

[9] A. Méndez-Albores, F. Martínez-Bustos, J. Véles-Medina, E. Castaño-Tostado, E. Moreno-Martínez, «Effect of moisture content, lactic acid addition and extrusion conditions on reduction of B-aflatoxins in milled sorghum (Sorghum L. Moench).,» *Journal of Animal and Feed Sciences,* p. 135, 442-451, 2008.

[10] A. Méndez-Albores, J.C. Del Río-García, E. Moreno-Martínez, «Decontamination of aflatoxin duckling feed with aqueous citric acid treatment.,» *Animal Feed Science and Technology,* vol. 135, pp. 249-262, 2007.

[11] M. Castegnaro, M. Friesen, J. Michelon, E.A Walker, «Problems related to the use of sodium hypochlorite in the detoxification of aflatoxin B1,» *American Industrial Hygiene Association Journal,* vol. 42, pp. 398-401, 1981.

[12] AOAC, «Official Methods of Analysis, 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.,» 2020.

[13] J. López-Cervantes, D.I. Sánchez-Machado, J. A. Rosas-Rodríguez, «Analysis of free amino acids in fermented shrimp waste by high-performance liquid chromatography,» *Journal of Chromatography A,* vol. 1105, nº 1-2, pp. 106-110, 2006.

[14] L. Salgado-Tránsito, J.C. Del Río-García, J.L. Arjona-Román, E. Moreno-Martínez, A. Méndez-Albores, «Effect of citric acid supplemented diets on aflatoxin degradation, growth performance and serum parameters in broiler chickens.,» *Archivos de Medicina Veterinaria,,* vol. 43, 215-222.

[15] P. Langhout, «New additives for broiler chickens,» *World Poultry,* vol. 16, pp. 22-27, 2000.

[16] I. Rustom, «Aflatoxin in food and feed: occurrence, legislation and inactivation by physical methods.,» *Food Chemistry,* vol. 59, pp. 57-67, 1997.

[17] D. Cazzaniga, J.C. Basilico, R.J. Gonzalez, R.L. Torres, D.M. De Greef, «Mycotoxins inactivation by extrusion cooking of corn flour.,» *Letters in Applied Microbiology,* vol. 33, pp. 144-147, 2001.

[18] G.C. Pérez-Flores, E. Moreno-Martínez, A. Méndez-Albores, « Effect of microwave heating during alkaline-cooking of aflatoxin contaminated maize.,» *Journal of Food Science,* vol. 76, 2011.

[19] R. Elias-Orozco, A. Castellanos-Nava, M. Gaytan-Martinez, J.D. Figueroa-Cárdenas, G. Loarca-Pina, « Comparison of nixtamalization and extrusion processes for a reduction in aflatoxin content.,» *Food Additives and Contaminants,* vol. 19, pp. 878-885, 2002.

[20] H. Hameed, «Extrusion and Chemical Treatments for Destruction of Aflatoxin in Naturally Contaminated Corn.,» *PhD Thesis, University of Arizona, Tucson, USA,* 1993.

[21] F. O. Omogbenigun, C. M. Nyachoti, B. A. Slominski, «The effect of supplementing microbial phytase and organic acids to a corn-soybean based diet fed to early-weaned pigs,» *J. Anim. Sci.,* vol. 81, pp. 1809-1813, 2003.

AVEM
Avicespecialistas de México

EVALUACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE FÓSFORO DIGESTIBLE EN GALLINAS HY-LINE W 80

Miguel Alberto Pérez Espinoza, Benjamín Fuente Martínez y Ezequiel Rosales Martínez
CEIEPAv-FMVZ-UNAM y Centro de Investigación Aplicada en Nutrición Avícola S.A de C.V., México

Resumen

Se emplearon 800 gallinas Hy-Line W-80 con 36 semanas de edad, alojadas en jaulas tipo california en forma piramidal de 3 niveles, cada jaula con capacidad de 5 aves. Las gallinas fueron distribuidas en un diseño completamente al azar en 5 tratamientos con 8 réplicas de 20 gallinas cada una. Las dietas fueron de acuerdo con los perfiles nutricionales calculados con base a la producción de masa de huevo, calculado para un consumo de 108g /ave. El agua se proporcionó a libre acceso durante todo el experimento. Los tratamientos fueron: Tratamiento1.Dieta con 0.254 % de Fósforo digestible, Tratamiento2.Dieta con 0.292 % de Fósforo digestible, Tratamiento3.Dieta con 0.328 % de Fósforo digestible, Tratamiento 4. Dieta con 0.365 % de Fósforo digestible y Tratamiento5.Dieta con 0.402 % de Fósforo digestible. Semanalmente se calculó el porcentaje de postura, peso promedio del huevo (g), consumo de alimento ave día (g), índice de conversión alimentaria (kg: kg), así como el porcentaje de huevo sucio y roto. Al final de la prueba se calculó: el porcentaje de mortalidad acumulada, el número de huevos por ave encasetada y el índice de conversión acumulado. Se evaluó la calidad del huevo con un texturómetro, a las tibias de las gallinas se les analizó porcentaje de cenizas, calcio y fósforo y a las heces el porcentaje de humedad, calcio y fósforo. Las variables antes mencionadas se analizaron conforme al diseño experimental empleado, y la comparación de las medias se realizó mediante la comparación múltiple de Tukey con una $P<0.05$. Los resultados promedio obtenidos en las 12 semanas de experimentación sobre los parámetros productivos, resistencia del cascarón, porcentaje de cenizas, calcio y fósforo en tibias y porcentaje de humedad, calcio y fósforo en heces no fueron afectados por los diferentes niveles de fósforo digestible($P>0.05$). En conclusión, podemos decir que una concentración de fósforo digestible entre los rangos de 0.254 % a 0.402% con una concentración de calcio total de 4.1 % en el alimento en dietas para gallinas Hy-Line W80 de 38 a 50 semanas de edad es adecuada para mantener el desempeño de las gallinas ponedoras sin afectar sus reservas de calcio y fósforo en hueso medular y sin comprometer la calidad del huevo.
Palabras Clave: Parámetros productivos, fósforo digestible, calidad de cascarón, huevo.

Introducción

Se proyecta que la población mundial llegue a más de 9 mil millones de personas en las próximas 4 décadas (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2014) con un aumento concomitante del 60% en la demanda de alimentos. (Kebreab, 2016). La avicultura es importante en la generación de alimentos de buena calidad y bajo costo para el ser humano, y, en particular, el huevo de gallina adquiere gran protagonismo; es por ello por lo que existen numerosos estudios destinados a determinar las necesidades de minerales, en especial de calcio y fósforo en las gallinas ponedoras. (Sanmiguel, 2016). El fósforo es el tercer componente más caro en una ración (Vallardi, 2002) y tiene importancia ambiental debido a su excreción por parte del ave. (Keshavarz, 2004). Valdés 2011 en su trabajo menciona que la selección genética ha cambiado las características de las gallinas de postura, las cuales son más productivas, con más bajos requerimientos para mantenimiento, pero también con bajo consumo de alimento, por lo que, consideran que los requerimientos de calcio y fósforo necesitan ser reevaluados constantemente.

También cabe resaltar que hoy en México todavía empleamos los valores de fósforo disponible y no digestible, esto debido a diversos factores, el primero es que las recomendaciones en la literatura todavía se utiliza el fósforo disponible Tablas de NRC y segundo no tenemos la información de los valores de fósforo digestible en los ingredientes que estamos empleando, sin embargo empieza a aparecer el concepto de fósforo digestible en literatura como las tablas Brasileñas (Rostagno 2017), en el manual de Hy-Line W80 2017 y las necesidades nutricionales en avicultura Normas FEDNA (2018). Los requerimientos de fósforo disponible para gallinas de postura han sido evaluados; sin embargo, los estudios para trabajar con fósforo digestible son escasos. La digestibilidad pre-cecal (PC) es un criterio establecido para la medición de la calidad de ciertos nutrientes en aves. Por lo tanto, este criterio empieza a tomar relevancia ya que los valores no se ven afectados por la actividad microbiana post-ileal, además de eliminar el efecto de la contaminación por excreción urinaria.

Esto es una ventaja, ya que la vía de excreción urinaria es uno de los más importantes reguladores en el metabolismo del P. Este criterio puede ser desarrollado como una herramienta alternativa para la medición de la disponibilidad de P, tanto que una de sus ventajas es la menor sensibilidad a la variación del P de la dieta, en comparación con la que tienen otros enfoques. Y para implementar raciones de Ca y P adecuados, es necesario conocer la digestibilidad de estos minerales, de los ingredientes que utilicemos y que los requerimientos de las aves estén expresados en los mismos términos. (Gómez 2013)

Evitar deficiencias es el principal objetivo de la optimización de la concentración de P en el alimento, pero otros aspectos son cada vez más relevantes. Por un lado, el P se acumula en el suelo y se lixivia si esa concentración se hace demasiado alta, con consecuencias negativas sobre las aguas superficiales, tales como la eutrofización. Por otra parte, es preciso tener en cuenta que los recursos globales brutos de fosfatos, que son esenciales para la producción de P alimenticio, son limitados. (Rodehutscord, 2011)

La mayoría de los fosfatos deriva de la roca fosfórica, la cual es un recurso no renovable, y las reservas actuales podrían escasear en 50 – 100 años. El mantenimiento de los recursos de P frente a una situación de escasez ha sido identificado como uno de los más grandes desafíos de la producción de alimento sostenible. (Gómez 2013)
Con estos antecedentes el objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta productiva de gallinas ponedoras Hy-Line W 80, alimentadas con diferentes niveles de fósforo digestible y niveles fijos de calcio total.

Materiales y métodos

Se realizó en el Centro de Investigación Aplicada en Nutrición Avícola S.A de C.V (CIANA) la cual es una granja experimental tipo comercial, ubicada al sur de la Sierra de Ameca, en el Km 44.5 carretera Guadalajara-Ameca desviación al Cabezón km 1.6 (20°33´N 104°27´O) en el estado de Jalisco México, la granja se encuentra a 1242 msnm con un clima templado-cálido con una temperatura media anual de 21.3°C y una precipitación pluvial de 864 mm.

Se emplearon 800 gallinas Hy-Line W-80 con 38 semanas de edad, con un peso promedio de 1,582 ± 85.7 g, alojadas en jaulas tipo california en forma piramidal de 3 niveles, cada jaula con capacidad de 5 aves, proporcionando un espacio de 400cm^2/gallina, con comedero de canal (10 cm/ ave) y bebedero tipo copa. Las gallinas fueron distribuidas en un diseño completamente al azar en 5 tratamientos con 8 réplicas de 20 gallinas cada una. A todos los animales se les proporcionó agua y alimento ad libitum.

Se formularon dietas fase 1 (de 38 a 50 semanas de edad) con base en maíz blanco, pasta de soya y pasta de canola de acuerdo con los perfiles nutricionales calculados con base a la producción de masa de huevo y un consumo de alimento de 108 g/ave/día.

Los tratamientos fueron:

1. Tratamiento1.Dieta con 0.254 % de Fósforo digestible y 4.1 % de Calcio total
2. Tratamiento2.Dieta con 0.292 % de Fósforo digestible y 4.1 % de Calcio total
3. Tratamiento3.Dieta con 0.328 % de Fósforo digestible y 4.1 % de Calcio total
4. Tratamiento4.Dieta con 0.365 % de Fósforo digestible y 4.1 % de Calcio total
5. Tratamiento5.Dieta con 0.402 % de Fósforo digestible y 4.1 % de Calcio total

Durante las 12 Semana de experimentación los parámetros productivos se registraron y determinaron semanalmente las siguientes variables: porcentaje de postura, peso promedio del huevo (g), consumo de alimento ave/día (g), porcentaje de huevo roto, sucio, número y kg de huevos acumulados por gallina alojada. Masa de huevo ave/día (g), índice de conversión alimentaria semanal y acumulada (kg: kg). Mortalidad semanal y acumulada. Al inicio, mitad y al final de la prueba, de cada tratamiento se pesaron 10 gallinas para calcular la ganancia de peso.

A la mitad y al final de la prueba se evaluó la calidad de huevo con un texturómetro DET 6000 de la empresa Nabel, tomando 6 huevos por replica. Al final de la prueba se sacrificaron 2 gallinas por tratamiento para poder obtener las tibias, ambas fueron limpiadas de tejido muscular y puestas en refrigeración a 4°C, para su posterior envió al laboratorio. Las excretas fueron recolectadas de un periodo de 12 horas, se colocaron charolas de recolección debajo de 4 réplicas por cada tratamiento y se tomó una muestra de 150 g por cada replica. Posteriormente fueron puestas en refrigeración a 4°C, para su envió al laboratorio. Las determinaciones de cenizas, minerales y humedad se realizaron en el laboratorio de sistemas en zootecnia. El análisis estadístico se realizó mediante un diseño completamente al azar y la comparación de las medias se realizó mediante la prueba de Tukey con una P< 0.05, además se realizó una regresión lineal simple donde X fue los niveles de fósforo digestible incluidos en la dieta Y= variable de respuesta.

	Tratamientos				
Ingredientes	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Maíz blanco	642.4	641.7	639.3	635.9	633.9
Pasta de soya	180.0	180.0	180.0	181.0	181.0
Pasta de Canola	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Aceite vegetal reciclado	7.0	7.5	8.5	9.5	10.0
Calcio fino	46.0	44.0	43.0	42.0	41.0
Calcio grueso	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0
Fosfato monodicalcico		2.5	4.9	7.3	9.8
Sal fina	2.9	2.6	2.6	2.6	2.6
Bicarbonato de sodio	1	1	1	1	1
Fitasa	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
L-lisina 78.8%	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Dl-metionina 99%	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Treonina 98%	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Florafil	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
Cantaxantina	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Vitaminas postura	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Xilanasa	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Total	1000	1000	1000	1000	1000
Proteína cruda, %	16.30	16.29	16.27	16.30	16.28
Energía metabolizable, Mcal/kg	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84
Lisina digestible, %	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
Met+cis digestible, %	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Calcio total, %	4.12	4.09	4.09	4.09	4.10
Fósforo disponible, %	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
Fósforo digestible, %	0.25	0.29	0.33	0.37	0.40
Grasa total, %	3.50	3.55	3.63	3.71	3.75
Fibra cruda, %	2.77	2.77	2.77	2.76	2.76
Cantaxantina mg/kg	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
Xantofilas amarillas, ppm	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20

Cuadro 1. Dietas utilizadas en los tratamientos, el nivel de fósforo digestible se obtuvo de las tablas de FEDNA.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos durante las 12 semanas de experimentación de la semana 38 a la 50 de vida de las gallinas, sobre los parámetros productivos semanales y acumulados, se muestran en el Cuadro 2 y 3, donde se observa que porcentaje de postura, peso de huevo, consumo de alimento ave/día, porcentaje de huevo roto, sucio, no fueron afectados por los diferentes niveles de fósforo digestible y niveles fijos de calcio total (p>0.05), por lo tanto las piezas y los kilogramos de huevo acumulado fueron similares en los 5 tratamientos (p>0.05), quizás porque a pesar de los diferentes niveles de fósforo digestible y niveles fijos de calcio total de las fórmulas, las gallinas cubren sus necesidades de fósforo y calcio incluyendo el nivel más bajo de fósforo digestible que se usó en el trabajo(0.254 %). Debido a que no hay información sobre rendimiento productivo basado en fósforo digestible, se tomó la equivalencia en fósforo disponible. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Acosta A, (2009) quien menciona que se puede disminuir el porcentaje de fósforo disponible en la dieta hasta un 0.25%, sin observar un efecto adverso en la producción.

Con la equivalencia en fósforo digestible 0.254 % se obtuvo un comportamiento productivo similar al obtenido con el máximo valor estudiado (0.402 % fósforo digestible). Esto sugiere que el actual nivel de fósforo digestible 0.36 % recomendado por el manual de Hy-Line W80 para gallinas ponedoras de edad de 35 a 55 semanas pudiera reducirse a valores cercanos a 0.25 %, sin que se alteren los indicadores productivos. Esto puede atribuirse a la mayor capacidad de las gallinas ponedoras para utilizar el fósforo.

En el Cuadro 2, se muestran los resultados de porcentaje de huevo roto, no presentaron diferencia entre los tratamientos empleados (p>0.05), resultados similares fueron obtenidos al medir la resistencia del cascarón (Cuadro 4), donde los valores a la mitad de la prueba estuvieron entre 5078.75 y 5462.70 g/cm2, y para los valores al final de la prueba 5014.70 y 5440.40 g/cm2 (Cuadro 5). Estos valores estuvieron por arriba de lo mencionado para la edad de las gallinas Hy-Line W80 2019. Esto es debido a que cuando la disponibilidad de los minerales como el calcio, fósforo es eficiente y hacen que la deposición en la matriz proteica sea la adecuada para formar una cáscara fuerte y por tanto la fuerza de ruptura del cascarón sea mayor. Contrario a lo que comenta M. Skřivan (2010) donde menciona que tanto altos niveles de fósforo disponible (0.41%) como niveles bajos (0.2 %) tienden a disminuir la calidad del cascarón, lo que no se observó en este experimento.

Cuadro 2. Efecto de los parámetros productivos de gallinas alimentadas con diferentes niveles de fósforo digestible y niveles fijos de calcio total.

Fósforo Digestible (Disponible), %	Postura, %	Peso de huevo, g	Masa de Huevo, g	Índice de conversión semanal, kg:kg	Consumo de alimento, g	Mortalidad promedio semanal, %	Huevo Roto, %	Huevo Sucio, %
0.254/0.250	94.6	61.2	57.9	1.820	105.5	0.2	0.39	5.22
0.292/0.301	96.3	60.5	58.3	1.780	104.1	0.2	0.38	5.24
0.328/0.350	96.7	60.5	58.5	1.800	105.2	0.1	0.40	5.22
0.365/0.399	95.4	60.5	57.7	1.825	105.2	0.1	0.32	5.17
0.402/0.450	95.5	60.5	57.8	1.828	105.6	0.1	0.35	4.80
EEM	0.5	0.2	0.4	0.013	0.6	0.1	0.10	0.58
R2	0.0	11.6	0.0	0.030	0.0	0.0	0.01	0.00
Probabilidad	0.07	0.06	0.51	0.19	0.40	0.84	0.98	0.98

No se encontró diferencia estadística significativa (P<0.05)
No se encontró correlación entre los niveles de fósforo y las variables estudiadas
EEM = error estadístico de la media

Cuadro 3. Efecto de los parámetros productivos acumulados de gallinas alimentadas con diferentes niveles de fósforo digestible y niveles fijos de calcio total.

Fósforo Digestible (Disponible)	Huevos/ave, kg	Huevos/ave, pza.	Índice de conversión acumulada, kg:kg	Mortalidad acumulada, %
0.254/0.250	4.81	78.5	1.840	2.50
0.292/0.301	4.85	80.3	1.800	1.87
0.328/0.350	4.87	80.5	1.814	1.25
0.365/0.399	4.82	79.7	1.833	0.62
0.402/0.450	4.84	79.9	1.832	1.25
EEM	0.04	0.69	0.02	1.18
R^2	0.00	0.02	0.00	0.02
Probabilidad	0.87	0.31	0.39	0.84

No se encontró diferencia estadística significativa (P<0.05)
No se encontró correlación entre los niveles de fósforo y las variables estudiadas
EEM = error estadístico de la media

En la calidad interna de huevo no se encontraron diferencias entre las unidades Haugh (Cuadro 4 y 5) de los diferentes tratamientos(p>0.05).

Cuadro 4. Efecto a la mitad de la prueba sobre la resistencia del cascarón, unidades Hugh y color de la yema de gallinas alimentadas con diferentes niveles de fósforo digestible y niveles fijos de calcio total.

Fósforo Digestible (Disponible), %	Resistencia de cascarón, g/cm2	Unidades Hugh	Color de la yema, Abanico DSM
0.254/0.250	5462.70	90.83	9.00
0.292/0.301	5340.42	90.60	9.00
0.328/0.350	5237.29	91.12	9.00
0.365/0.399	5078.75	91.12	9.00
0.402/0.450	5181.25	90.25	9.00
EEM	86.33	0.48	0.31
R^2	0.25	0.67	0.16
Probabilidad	0.35	0.06	0.19

No se encontró diferencia estadística significativa (P<0.05)
No se encontró correlación entre los niveles de fósforo y las variables estudiadas
EEM = error estadístico de la media

Cuadro 5. Efecto al final de la prueba sobre la resistencia del cascarón, unidades Hugh y color de la yema de gallinas alimentadas con diferentes niveles de fósforo digestible y niveles fijos de calcio total.

Fósforo Digestible (Disponible), %	Resistencia de cascarón, g/cm2	Unidades Haugh	Color de la yema, Abanico DSM
0.254/0.250	5440.40	84.71	9.00
0.292/0.301	5014.70	84.79	9.00
0.328/0.350	5041.80	83.75	9.00
0.365/0.399	5295.00	83.64	9.00
0.402/0.450	5278.50	84.53	9.00
EEM	1.23	0.75	0.20
R^2	0.00	0.01	0.00
Probabilidad	0.10	0.72	0.91

No se encontró diferencia estadística significativa (P<0.05)
No se encontró correlación entre los niveles de fósforo y las variables estudiadas
EEM = error estadístico de la media

En los resultados del análisis de excretas (porcentaje de humedad, Ca y P) (Cuadro 6) de gallinas alimentadas con diferentes niveles de fósforo digestible y niveles fijos de calcio total no se observó diferencia (p>0.05), indica que los niveles de fósforo digestible no influyeron en el fósforo total excretado, y considerando importante la reducción de la excreción de fósforo para tener menor contaminación del ambiente.

Cuadro 6. Análisis de excretas (porcentaje de humedad, Ca y P) de gallinas alimentadas con diferentes niveles de fósforo digestible y niveles fijos de calcio total.

Fósforo Digestible (Disponible), %	Humedad, %	Calcio, %	Fósforo, %
0.254/0.250	80.00	7.20	0.93
0.292/0.301	79.88	7.48	1.28
0.328/0.350	80.56	7.60	1.12
0.365/0.399	78.57	9.52	1.37
0.402/0.450	78.92	7.81	1.73
EEM	1.02	1.08	0.14
R^2	0.06	0.04	0.43
Probabilidad	0.64	0.60	0.14

No se encontró diferencia estadística significativa (P<0.05)
No se encontró correlación entre los niveles de fósforo y las variables estudiadas
EEM = error estadístico de la media

Los resultados en el análisis del contenido de cenizas, fósforo y calcio de las tibias de las gallinas alimentadas con diferentes niveles de fósforo digestible (Cuadro 7), no presentaron diferencias entre los tratamientos (p>0.05). Keshavarz (2000), Gordon y Roland (1997) y Sohail y Roland (2000) reportaron resultados similares a los obtenidos en el presente trabajo en relación con el porcentaje de cenizas en los huesos con dietas bajas en fósforo.

El contenido de fósforo en el hueso no fue afectado por el nivel de fósforo digestible en la dieta. En éste mismo contexto la cantidad de calcio tampoco mostró cambio. (p>0.05)

Cuadro 7. Análisis de tibias (porcentaje de cenizas, Ca y P) de gallinas alimentadas con diferentes niveles de fósforo digestible y niveles fijos de calcio total

Fósforo Digestible (Disponible), %	Cenizas, %	Calcio, %	Fósforo, %
0.254/0.250	46.63	18.33	7.98
0.292/0.301	44.80	17.79	7.66
0.328/0.350	46.67	18.49	7.83
0.365/0.399	47.18	18.53	8.03
0.402/0.450	43.58	17.51	7.34
EEM	1.55	0.48	0.20
R^2	0.06	0.05	0.15
Probabilidad	0.50	0.52	0.25

No se encontró diferencia estadística significativa (P<0.05)
No se encontró correlación entre los niveles de fósforo y las variables estudiadas
EEM = error estadístico de la media

AVEM
Avi especialistas de México

Conclusión

De los resultados obtenidos bajo las condiciones experimentales empleadas, se puede concluir, que una concentración de fósforo digestible entre los rangos de 0.254 % a 0.402% con una concentración de calcio total de 4.1 % en el alimento en dietas para gallinas Hy-Line W80 de 38 a 50 semanas de edad es adecuada para mantener el desempeño de las gallinas ponedoras, sin afectar sus reservas de calcio y fósforo en hueso medular y sin comprometer la calidad del huevo; por lo que se tendría una ventaja económica al utilizar la dieta con concentraciones bajas de P digestible sobre concentraciones más altas.

Referencias

1. Acosta A., Lon-Wo E, Cárdenas M, Almeida M. Efecto del nivel dietético de fósforo en el comportamiento productivo y metabolismo mineral de gallinas ponedoras comerciales. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 43, Número 3, 2009
2. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, FEDNA. Necesidades Nutricionales en Avicultura Nomas FEDNA da Edición 2018. Disponible en:
3. https://www.fundacionfedna.org/sites/default/files/NORMAS_FEDNA_AVES_2018v.pdf
4. Gómez F. Una Mirada hacia la Sostenibilidad Ambiental, Yara Nutrición Animal Latin América Basado de Shastak & Rodehutscord 2013 Información revisada por R&D Yara Nutrición Animal Latin América. Disponible en: https://bmeditores.mx/avicultura/determinacion-de-la-disponibilidad-del-fosforo-en-aves/
5. Gordon RW, Roland DA. Performance of commercial laying hens fed various phosphorus levels, with and without supplemental phytase. Poult Scie 1997; 76: 1172–1177.
6. Hy-Line International Dallas Center, Iowa 50063. Guía de Manejo. Ponedoras comerciales W-80. 2019
7. Kebreab, Ermias & Liedke, A. & Caro, Dario & Deimling, S. & Binder, M. & Finkbeiner, M. Environmental impact of using specialty feed ingredients in swine and poultry production: A life cycle assessment. (2016). Journal of Animal Science. 94. 10.2527/jas.2015-9036.
8. Keshavarz K, Austic RE. The use of low-protein, low-phosphorous, aminoacid- and phytase- supplemented diets on laying hen performance and nitrogen and phosphorous excretion. Poult Sci 2004;(83):75-83.
9. M. Skřivan & M. Englmaierová & V. Skřivanová.Effect of different phosphorus levels on the performance and egg quality of laying hens fed wheat- and maize-based diets. Czech Journal of Animal Science, Czech Academy of Agricultural Sciences 2010; vol. 55(10), pages 420-427.
10. Rodehutscord M. Avances en la valoración del fósforo en aves. Institute of Animal Nutrition, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany. 2011 XXVII Curso de especializacion FEDNA
11. Rostagno, H.S.; Texeira A.L.F.; Hannas, M.I.; et al. Tablas Brasileñas para aves y cerdos. Composición de alimentos y requerimientos nutricionales. 4ª edición. Universidad Federal de Viçosa - Departamento de Zootecnia. Brasil. 2017.
12. Sanmiguel R. A, Mejía R., Lozano L, Castañeda R., Evaluación de diferentes granulometrías de calcio en la alimentación de gallinas ponedoras. Ciencia y Agricultura, vol. 13, núm. 2, pp. 67-72, 2016.
13. Sohail SS, Roland DA., Influence of fitasa on calcium utilization in commercial layers. J ApplPoultry Res 2000; 9: 81-87
14. Vallardi GM, Morales LR, Ávila GE. Efecto de la adición de fitasa como fuente de fósforo inorgánico en dietas para gallinas de postura. Tec Pecu Méx 2002;40(2):181-186.

EVALUACIÓN DE TRES ALIMENTOS COMERCIALES EN CODORNIZ JAPONESA (*Coturnix japonica*) POSTURA

Jennifer Pérez Martínez
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
jeanbodin_@hotmail.com

Resumen
En México se encuentran diferentes marcas de alimentos comerciales para codornices, los cuales son elaborados con diferentes características. El objetivo es evaluar en codorniz japonesa en postura (*Coturnix japonica*) tres alimentos comerciales con diferente contenido nutrimental, tamaño de partícula, presentación y cocteles enzimáticos en las variables productivas, calidad de huevo, vellosidades intestinales, peso y tamaño de órganos. El experimento tuvo una duración de 12 semanas, se utilizaron 150 codornices, las cuales se distribuyeron completamente al azar, se evaluaron tres alimentos comerciales de postura de diferentes marcas (A, B y C). Se evaluaron variables productivas, así como el tamaño de las vellosidades intestinales. Se realizó un análisis de varianza con el procedimiento GLM y MIXED de SAS. En las variables productivas el tratamiento A tuvo el menor consumo, la mejor conversión y el menor costo de huevo ($p<0.05$). Las vellosidades intestinales en duodeno fueron más altas ($p<0.05$) en los tratamientos con enzimas. Se concluye que la presentación en harina es la mejor alternativa para alimentar a las codornices durante la postura. Las enzimas desarrollan la altura de las vellosidades.
Palabras Clave: producción, tamaño de partícula, enzimas, vellosidades intestinales.

Introducción

En México existen diferentes marcas para la fabricación de alimentos balanceados en codorniz postura, los cuales cubren los requerimientos nutrimentales que estas necesitan, pero cada uno varía en ingredientes, aditivos, contenido nutricional, tamaño de partícula, así como en el precio.

En la actualidad hay tablas con diferentes contenidos nutricionales para codorniz en postura, entre las cuales se encuentran las del NRC (1994) y Rostagno *et al.* (2017), quienes recomiendan un contenido de Proteína Cruda (PC) de 21 y 19.07%, respectivamente; además de contenidos de Energía Metabolizable (EM) de 2,900 y 2,800 kcal/kg, respectivamente. En la formulación de raciones también es importante considerar la granulometría y forma física del alimento, además de la adición de enzimas exógenas.

Con respecto al uso de enzimas, estas rompen los enlaces de Polisacáridos No Amiláceos (PNA), lo que hace disponible los nutrimentos y como resultado, mejoran las variables productivas durante la postura (Abd El-Hack *et al.,* 2019; Pérez *et al.,* 2021). Por lo tanto, el objetivo de la investigación es evaluar en codorniz japonesa de postura (*Coturnix japonica*), tres marcas comerciales de alimentos con diferente contenido nutricional, tamaño de partícula, presentación y cocteles enzimáticos, en las variables de producción y altura de las vellosidades intestinales en codorniz postura.

Avieespecialistas de México

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en una granja de codornices ubicada en Texcoco, Estado de México. Se utilizaron 150 codornices hembra con edad inicial de 56 d y edad final de 140 d. Se asignaron aleatoriamente a tres tratamientos, cada uno con cinco repeticiones de 10 aves. Para el correcto manejo de las aves se utilizó el Reglamento para el usó y cuidado de animales destinados a la investigación del Colegio de Postgraduados (2016).

Las aves se alojaron en jaulas de postura, cinco aves por jaula de 27 x 50 cm, con comederos lineales y bebederos automáticos. Se evaluaron tres alimentos comerciales de postura de diferentes marcas (A, B y C) (Cuadro 1), a los cuales se les determinó tamaño de partícula (promedio geométrico de diámetro, PGD). A las aves se les proporcionó agua y alimento *ad libitum,* la iluminación artificial comenzó en la semana 8, con 12 h luz d^{-1}; la cual aumentó 1h de luz d^{-1} semanal hasta alcanzar 16 h luz d^{-1}.

Cuadro 1. Contenido nutricional y características físicas de tres marcas de alimentos de codorniz, según su etiqueta.

Contenido de etiqueta	A	B	C
PC (%)	21.00	21.00	21.00
GC (%)	3.00	3.00	2.00
FC (%)	4.00	4.00	5.00
Enzimas deshidratadas	-	Fitasa 500 FTU/kg Xilanasa 1200 U/kg β glucanasa 200U/kg Celulasa 200/kg Manasa 1800U/kg	Fitasa 500 FTU/kg β Xilanasa 1100 U/kg β glucanasa 100U/kg Celulasa 200/kg Xilanasa 75 U/kg Proteasa 1000U/kg Amilasa 100U/kg
Presentación	Harina	Pellet	Pellet
Tamaño de partícula			
PGD	904	1010	1569

PC, proteína cruda; GC, grasa cruda; FC, fibra cruda; PGD, promedio geométrico del diámetro.

Variables productivas. El estudio se dividió en tres periodos de cuatro semanas cada uno, se evaluó semanalmente: alimento consumido (AC, g ave/d), conversión alimenticia (CA, kg de alimento/kg de huevo), porcentaje de postura (PP), masa de huevo (MH, g de huevo gallina/d) y peso de huevo (PH, g/d).

Estudio histológico. Al final del experimento se tomó al azar un ave por repetición, a continuación, se ayunaron durante 12h, posteriormente se pesaron y sacrificaron cortando la sección de la vena yugular y arteria carótida siguiendo las recomendaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995. Después de que se confirmó la muerte del ave, se tomó una muestra por repetición de duodeno (parte descendente) y yeyuno (proximal), cada segmento intestinal se recogió cerrado con un tamaño de 2 cm de longitud. Después de cortar las muestras se lavó el lumen intestinal con agua destilada y formalina tamponada al 10% para eliminar su contenido. Los cortes se colocaron en frascos los cuales contenían formalina amortiguada al 10% para su procesamiento y corte (Gava *et al.,* 2015).

Las muestras se incluyeron en xilol, alcohol y parafina pura, los cortes se realizaron en secciones de 4 µm de espesor con un micrótomo 820® (Optical Americana, Buffalo, para teñirse con hematoxilina-eosina. Para la altura de las vellosidades intestinales (AVLL) se midieron 15 de cada repetición y de cada sección intestinal, a partir de la cripta hasta la punta de la vellosidad, las mediciones se realizaron utilizando escala de micras, con un microscopio de luz con el objetivo 4x y el software Image J versión 1.8.0.

Análisis Estadístico

Para las vellosidades intestinales, se utilizó un diseño experimental completamente al azar (procedimiento GLM de SAS); para las variables productivas y costo de huevo se utilizó un diseño experimental completamente al azar (procedimiento MIXED de SAS). Las diferencias entre medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey (SAS 2017).

Resultados y discusión

El tratamiento B era alimento en pellet con un tamaño de partícula de 1010 PGD, este tuvo el mayor AC, PP y MH (p<0.05) (Cuadro 2), pero el consumo fue tan alto que la CA fue la peor. Para realizar el peletizado se requiere de temperatura (60 a 90°C) y las altas temperaturas disminuyen los nutrimentos y aumentan la viscosidad de la digesta, lo que afecta la digestibilidad de aminoácidos y carbohidratos, ya que las aves comen para cubrir sus requerimientos de energía y proteína (Leeson y Summers 2005; Loar *et al.,* 2014), aunque el contenido de proteína en la etiqueta de los alimentos era isoproteico. El tratamiento A era alimento en harina con 904 PGD, este tuvo el menor consumo (p<0.05) con la mejor CA, esta puede explicarse ya que al ser un alimento en harina mejoró la digestión de los nutrimentos resultante del aumento del área de superficie del sustrato disponible para la digestión enzimática (Ege *et al.,* 2019).

Cuadro 2. Efecto de alimentos comerciales en las variables productivas de codorniz japonesa en postura de 8 a 20 semanas de edad.

Tratamiento	AC	PH	PP	MH	CA
A	32.92c	13.70	74.77b	10.28b	2.44c
B	40.96a	14.12	79.85a	11.36a	2.92a
C	37.56b	13.85	72.88b	10.15b	2.76b
EEM	0.43	0.16	1.31	0.19	0.02

Medias con letra distinta dentro de cada columna son diferentes (p<0.05); AC, alimento consumido; PH, peso de huevo; PP, porcentaje de postura; MH, masa de huevo; CA, conversión alimenticia; EEM, error estándar de la media.

En PH no se encontraron diferencias (p>0.05) entre tratamientos. Massuquetto *et al.* (2018) encontraron en pollos de engorda que el alimento en pellet aumentó el consumo de alimento y mejoró la ganancia de peso. El pellet aumenta el consumo ya que las partículas de alimento se aglomeran además de mejorar la textura de este, en cuanto al rendimiento de los animales este aumenta debido a que al peletizar el alimento, disminuye la reducción del gasto de energía del animal durante el consumo de alimento y la disminución de selección de ingredientes. Sin embargo, el proceso de peletizado aumenta el costo de las dietas en comparación con el alimento en harina, aunque algunos investigadores mencionan que este costo puede ser compensado por la mejora de las variables productivas (Abdollahi *et al.,* 2013). Respecto a los cocteles enzimáticos se ha encontrado que las enzimas mejoran las variables productivas, tales como AC, CA, PP y MH; ya que la función de las enzimas es romper la pared celular de los PNA y así, hacer disponible los nutrimentos (Khusheeba y Sajid 2013; Pérez *et al.,* 2021). Las dietas B y C contienen enzimas, pero solo el tratamiento B mejoró el PP y MH, ya que las enzimas actúan sobre PNA específicos y eso dependerá de los ingredientes utilizados en la dieta.

La altura de las vellosidades intestinales está relacionada con una mayor área de absorción de nutrimentos; en el presente estudio la altura de las vellosidades en duodeno y yeyuno fueron mayores (p<0.05) (Cuadro 3) en los tratamientos B y C, los cuales eran alimentos en pellet con un tamaño de partícula de 1010 y 1569 PGD, además de cócteles enzimáticos, los cuales favorecieron el crecimiento de estas. El tratamiento A fue el que tuvo menor tamaño de vellosidades ya que este alimento no contenía enzimas. Zhu *et al.* (2014) encontraron que la adición de complejos enzimáticos aumentó la longitud de las VI durante la engorda de pollos. Ege *et al.* (2019) observaron una mayor altura, ancho y radio de las vellosidades, en gallinas alimentadas con alimento peletizado en comparación con las alimentadas en harina, sin embargo, el incremento del área de absorción intestinal como resultado de la alimentación con pellet no se manifestó en una mayor utilización y absorción de nutrimentos.

Cuadro 3. Altura de las vellosidades intestinales en codorniz japonesa en postura en de 20 semanas de edad con diferentes alimentos comerciales.

Tratamiento	Duodeno (µm)	Yeyuno (µm)
A	75.45b	70.50b
B	109.20a	89.19a
C	103.39a	87.09a
EE	1.51	1.30

EEM, error estándar de la media. Medias con letra distinta dentro de cada columna son diferentes (p<0.05).

Referencias

[1] Abd El-Hack ME, Mahrose KM, Attia FAM, Swelum AA, Taha AE, Shewita RS, Hussein E-OS, Alowaimer AN. 2019. Laying performance, physical, and internal egg quality criteria of hens fed distillers dried grains with solubles and exogenous enzyme mixture. Animals 9: 150.

[2] Abdollahi MR, Ravindran V, Svihus B. 2013. Pelleting of broiler diets: An overview with emphasis on pellet quality and nutritional value. Animal Feed Science Technology 179: 1-23.

[3] Colegio de Postgraduados. [internet]. 2016. Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados. [citado 02 marzo 22]. Disponible en: https://www.colpos.mx/wb_pdf/Investigacion/REGLAMENTO_USO_CUIDADO_ANIMALES%20DESTINADOS_INVESTIG_CP%20(1).pdf#:~:text=El%20presente%20Reglamento%20tiene%20como%20objetivo%20normar%20el,Colegio%20de%20Postgraduados.%201.2.%20Fundamento%20Legal%20ART%C3%8DCULO%202%C2%BA

[4] Ege G, Bozkurt M, Koçer B, Tüzün AE, Uygun M, Alkan G. 2019. Influence of feed particle size and feed form on productive performance, egg quality, gastrointestinal tract traits, digestive enzymes, intestinal morphology, and nutrient digestibility of laying hens reared in enriched cages. Poultry Science 98: 3787-3801.

[5] Gava MS, Moraes LB, Carvalho D, Chitolina GZ, Fallavena LCB, Moraes HLS, Herpich J, Salle CT. 2015. Determining the best sectioning method and intestinal segment for morphometric analysis in broilers. Brazilian Journal of Poultry Science 17: 145-150. https://doi.org/10.1590/1516-635x1702145-150

[6] Khusheeba M, Sajid M. 2013. A review on role of exogenous enzyme supplementation in poultry production. Journal Food Agriculture 25: 66–80.

[7] Leeson S, Summers JD, 2005. Commercial Poultry Nutrition. University Books. Guelph, Canadá.

[8] Loar II RE, Wamsley KGS, Evans A, Moritz JS, Corzo A. 2014. Effects of varying conditioning temperature and mixer-added fat on feed manufacturing efficiency, 28-to 42-day broiler performance, early skeletal effect, and true amino acid digestibility. Journal of Applied Poultry Research 23: 444-455.

[9] Loar II RE, Wamsley KGS, Evans A, Moritz JS, Corzo A. 2014. Effects of varying conditioning temperature and mixer-added fat on feed manufacturing efficiency, 28-to 42-day broiler performance, early skeletal effect, and true amino acid digestibility. Journal of Applied Poultry Research 23: 444-455.

[10] Massuquetto A, Durau JF, Schramm VG, Netto MVT, Krabbe EL, Maiorka A. 2018. Influence of feed form and conditioning time on pellet quality, performance and ileal nutrient digestibility in broilers. Journal of Applied Poultry Research 27: 51-58.

[11] [NRC] National Research Council. 1994. Nutrient requirements of poultry. National Academy of Sciences. National Academy Press. Washington, Estados Unidos.

[12] Pérez J, Cuca JM, Becerril CM, Pro A, Hernández O, González M, Valdés V, Carrillo S. 2021. Granos secos de destilería con solubles de maíz y suplementación de xilanasa en pollas y gallinas bovans White. Agrociencia **55: 417-431.**

[13] Rostagno HS, Teixeira L, Donzele J, Gomes P, De Oliveira R, Lopes DA, Ferreira A. 2017. Tablas brasileñas para aves y cerdos. Composición de alimentos y requerimientos nutricionales, 2. **[citado 4 mayo 22]. Disponible en:** https://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/126-tablas_brasileras_aves_cerdos.pdf

[14] SAS] Statistical Analysis Systems. 2017. SAS/STAT User's guide, version 9.4. SAS Institute Inc. North Caroline, Estados Unidos.

[15] Zhu HL, Hu LL, Hou YQ, Zhang J, Ding BY. 2014. The effects of enzyme supplementation on performance and digestive parameters of broilers fed corn-soybean diets. Poultry Science 93: 1704-1712.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL EN POLLOS SASSO EN ETAPA DE CRECIMIENTO-FINALIZACIÓN ALIMENTADOS CON ECOBIOL Y PROPHORCE EN LA DIETA

Johana Paola Galeano Diaz[1], M. Moreno Díaz[1], I.T. Cruz Alcalan[1], Juan Edrei Sanchez Torres[1], I.A. Domínguez Vara[1], E. Morales Almaraz[1], L. Uribe Mejía[1], O.V. Vázquez Mendoza[2], V. Valdés Narváez[3], M.L. Garcia Bello
[1]Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Universitario "El Cerrillo", Toluca, Estado de México. [2]Evonik México SA de CV, [3]Independiente Nutryse, Nezahualcóyotl, México.
edreie@yahoo.com.mx

Resumen

Se evaluó el comportamiento productivo y características de la canal en pollos Sasso alimentados con Ecobiol y ProPhorce (*Bacillus amyloliquefaciens* y tributirina, respectivamente) en la dieta de pollos de engorda en etapa de crecimiento-finalización. El periodo experimental tuvo una duración de 46 días, en los cuales 216 pollos fueron alojados en 72 jaulas (3 aves por jaula) siendo 18 jaulas por tratamiento. Se evaluaron 4 tratamientos; siendo la dieta 1 (T1): dieta Testigo (DT) sin ningún aditivo, la dieta 2(T2): DT + Ecobiol (500g/Ton), la dieta 3(T3): DT + ProPhorce (1kg/Ton), y la dieta 4(T4): DT + Ecobiol (500g/Ton) + ProPhorce (1kg/Ton). Finalizado el periodo experimental se realizó la matanza de las aves y se evaluaron las características de la canal en términos de pH, peso de cortes primarios y volumen. Los resultados se analizaron con un diseño experimental completamente al azar, se usó el procedimiento GLM y la comparación de medias se realizó mediante el método de Tukey. Se observaron diferencias significativas (p<0.05), disminuyendo la respuesta productiva al adicionar en conjunto el ProPhorce + Ecobiol. Con respecto al pH en el duodeno y yeyuno fue menor (P<0.05) en los pollos alimentados con el T1 y T2. En los valores de pH en los musculos *Pectoralis major, Tibialis internus y glutaeus major* de pollos alimentados con Ecobiol y ProPhorce, fue más bajo (P<0.05) en los pollos alimentados con el T1; con respecto, a los pesos de los cortes primarios de mayor valor comercial, el muslo fue menos (P<0.05) pesado el de los pollos alimentados con el T2, y en el volumen de la pechuga, pierna y muslo se observaron diferencias, observando una relación similar en el orden de los pesos obtenidos de los cortes primarios. El adicionar aditivos en el alimento comercial en la alimentación de pollo de engorda Sasso mostro diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos de los parámetros productivos, pH intestino delgado, pH canal, peso cortes primarios y volumen.

Palabras Clave: Pollos de engorde, Ecobiol, ProPhorce.

Abstract

The effect of the addition of different additives (Ecobiol and ProPhorce) in the diet of growing broilers on the development of productive behavior and carcass characteristics was evaluated. During 46 days, 216 Sasso broilers, randomly housed 3 birds per cage, were evaluated for productive behavior. Four treatments were evaluated: diet 1 (T1): control diet (CD) based on corn (67.45%) and soybean (27.2%), diet 2 (T2): CD + Ecobiol (500g/Ton), diet 3 (T3): CD + ProPhorce (1kg/Ton), and diet 4 (T4): CD + ProPhorce + Ecobiol. At the end of the experimental period, slaughter (NOM-033) was performed, and the effect of carcass characteristics in terms of pH, primal cuts and volume was evaluated. The results were analyzed with a completely randomized experimental design, the GLM procedure was used and the comparison of means was carried out using Tukey's method. Significant differences were observed (p<0.05), decreasing the productive response when ProPhorce + Ecobiol was added together. The pH of the duodenum and jejunum was lower in broilers fed with T1 and T2, in terms of the pH of the Pectoralis major, Tibialis internus and glutaeus major muscles of broilers fed with Ecobiol and ProPhorce, it was lower in broilers fed with T1, in the weights of the primary cuts of higher commercial value, in the thigh was less heavy in the chickens fed T2, and in the volume of the breast, leg and thigh differences were observed, observing a similar relationship in the order of the weights obtained from the primary cuts. The addition of additives to the commercial feed in the Sasso broiler feed showed statistically significant differences between the means of the treatments for the productive parameters, small intestine pH, carcass pH, weight of primal cuts and volume, recommending not to feed the two products at the same time.

Key Words: Broiler chickens, Ecobiol, ProPhorce.

Introducción

En la industria cárnica es un desafío controlar los factores que afectan la calidad de la carne, debido a que es un alimento propenso a sufrir contaminación y desarrollo microbiano, repercutiendo notoriamente en las características físicas y

organolépticas en la carne debido a los cambios que se generan antes, durante y después del sacrificio. La avicultura se ha catalogado como una industria potente en el crecimiento del PIB en el sector pecuario [1]. En las producciones agropecuarias es fundamental desarrollar estrategias de alimentación para que sea más eficiente el aprovechamiento de los nutrientes de los alimentos y poder así aumentar aún más el valor nutricional de la carne.
Los aditivos pronutriente, se ha definido como una sustancia que mejora el valor de los alimentos [2], siendo de gran importancia su adición a las dietas que se suministran a las aves para lograr un mejor desempeño, una mejor salud, y no menos importante minimizar el impacto ambiental. Un pronutriente alternativo al uso de antibióticos es la adición de tributirina en la alimentación de los pollos de carne, siendo una herramienta eficaz para criar pollos de engorde sin utilizar antibióticos promotores de crecimiento en la alimentación, aumentando la altura de las vellosidades del duodeno, yeyuno e íleon y reducir la carga de bacterias gramnegativas [3], y nueva perspectiva de la utilización de tributirina, que además de disminuir la conversión alimenticia durante la fase de crecimiento, se considera una posible alternativa antibiótica en la industria de pollos de engorde mediante la modulación de la composición de la microbiota intestinal [4]. Otro aditivo pronutriente que se ha registrado como potenciador en la producción de pollos de engorde, son los probióticos los cuales mejoran el rendimiento mediante diferentes modos de acción, siendo la cepa *Bacillus amyloliquefaciencs* otra estrategia de alimentación para poder adicionar en la alimentación de los pollos de engorde, mejorando el desempeño productivo [5]. Por lo anterior, el objetivo fue evaluar el efecto de la tributirina y *Bacillus amyloliquefaciencs* en la dieta de pollos de engorda en la etapa de finalización sobre el comportamiento productivo y las características de la canal.

Materiales y métodos

El estudio se realizó de octubre a noviembre del 2022 en el área avícola y producción animal ubicado en la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicada en el Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, a los 19°24'15" norte y 99°41'06" oeste, y a una altitud de 2632 m sobre el nivel del mar. Se utilizaron un total de 216 pollos de la línea Sasso de 12 días de edad y con un peso inicial promedio de 390 g, las aves se adquirieron de un proveedor comercial un día antes del experimento siendo transportadas a las instalaciones del área avícola de la posta zootécnica en jaulas de plástico donde fueron liberadas y alojadas aleatoriamente 3 aves por jaula (80 x 80 x 50 centímetros) con su respectivo comedero y bebedero. Se evaluaron cuatro dietas experimentales (T1, T2, T3 y T4) que contenían diferente adición de *Bacillus amyloliquefaciens* (Ecobiol) y Tributirina (ProPhorce). Las dietas experimentales fueron las siguientes: la dieta 1: dieta Testigo (DT) a base de maíz (67.45%) y soya (27.2%), la dieta 2: DT + Ecobiol (500g/Ton), la dieta 3: DT + ProPhorce (1kg/Ton), y la dieta 4: DT + ProPhorce + Ecobiol; adicionalmente a todas las dietas se adicionaron, aceite (1.60%), fosfato (0.82%), carbonato de calcio (1.2%), cloruro de colina (0.09%), metionina (0.25%), florafil (0.25%), treonina (0.049%), cema (0.13%), sal yodatada (0.35%), mycofix (0.05%), lisina (0.33%), betaina (0.13%), (0.01), fitasa (0.02%), mineral pollo (0.10%) y vitamina pollo (0.10%). Los pollos fueron alimentados dos veces al día (10:00 h y 15:00 h). Se evaluó la respuesta productiva (consumo de alimento, ganancia de peso, conversión y eficiencia alimenticia). Finalizado los 46 días del periodo experimental, se llevó a cabo la matanza según la norma oficial mexicana (NOM-033-ZOO-1995) [6], se midió el pH del duodeno, yeyuno e íleon, además, se midió el pH en el musculo *Pectoralis major, Tibialis internus y glutaeus majo;* posteriormente se realizó el peso de los cortes primarios los pollo y la medición del volumen de la pechuga, muslo y piernas. Los datos obtenidos fueron analizados bajo un diseño experimental completamente al azar, donde los datos recabados fueron procesados con un análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM del SAS [7]. La comparación de medias se realizó por prueba de Tukey. Los niveles de significancia fueron $p \leq 0.05$ para cada tratamiento.

Resultados

Los pollos iniciaron con un peso similar ($P>0.05$) entre los tratamientos. En el cuadro 1 se observaron diferencias significativas ($p<0.05$) en el comportamiento productivo de pollos de engorda alimentados con diferente adición de Ecobiol y ProPhorce, siendo menor ($p<0.05$) el peso vivo final de los pollos alimentados con el T4 y contrario al T1, T2 y T3. El consumo total de alimento y consumo diario de alimento no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p>0.05$), con respecto a la ganancia diaria de peso y ganancia total de peso, fue mayor ($p<0.05$) en los pollos alimentados con el T1, T2 y T3, y menor ganancia de peso en los pollos alimentados con el T4. Los pollos alimentados con el T2 fueron los que presentaron una mejor conversión y eficiencia alimenticia ($P<0.05$), contrario a los pollos alimentados

con el T4. En el cuadro 2 se encontraron diferencias significativas (p<0.05) en el pH del duodeno, yeyuno e ileon de pollos de engorda alimentados con diferente adición de Ecobiol y ProPhorce, siendo el pH mayor (P<0.05) en los pollos alimentados con el T3 y T4, y menor en los pollos alimentados con T1 y T2; y en el pH del Ileon, fue mayor en los pollos alimentados con T3, similar los pollos alimentados con T4 y menor pH de los pollos alimentados con T1 y T2. En el cuadro 3, se presentan los pH a los 45 m y 24 h de músculo *Pectoralis major* (Pechuga)*, Tibialis internus* (Pierna) *y glutaeus major* (Muslo)*,* se reportaron diferencias significativas (p<0.05) en los pH de pechuga a los 45 m siendo mayor en los pollos alimentados con la dieta control y menor en los pollos alimentados con T3, y en el pH a las 24 h fue mayor en los pollos alimentados con T1 y menor en los pollos alimentados con T2 y T3. En el pH de pierna a los 45 m, fue mayor (P<0.05) en los pollos alimentados con T1 y T2 y menor en los pollos alimentados con T3, y a las 24 h fue menor (P<0.05) en los pollos alimentados con T2 y mayor en los pollos del T1 y T4, en la medición del pH del muslo fue igualmente mayor (P<0.05) en los pollos alimentados con el T1 y T4, similar a los pollos alimentados con el T3 y menor pH del muslo a las 24 h en los pollos alimentados con T2. En el cuadro 4 se presentan los resultados de los pesos de los cortes primarios de la canal de pollos alimentados con Ecobiol y ProPhorce, no se observaron diferencias significativas (p>0.05) en el peso del cuello, alas, pechuca, piernas y patas, sin embargo en el peso de la cabeza, muslo, rabadilla huacal se observaron diferencias significativas (p<0.05), siendo de estas piezas el muslo un corte de mayor valor comercial y se observó un mayor peso en los pollos alimentados con T1, similar con los pollos alimentados con el T4, y menor con los pollos alimentados con T2. Y con respecto al volumenes de pechuga, pierna y muslo de pollos alimentados con Ecobiol y ProPhorce, se observaron diferencias significativas (p>0.05), observando un mayor volumen de pechuga en los pollos alimentados con T1, similar en los pollos alimentados con T2 y T3 y menor volumen en los pollos alimentados con T4. En el volumen de pierna fue menor en los pollos alimentados con T4, y contrario a los pollos alimentados con T2, y en el volumen del muslo fue mayor en los pollos alimentados con la dieta control, similar con los pollos alimentados con T4, y menor en los pollos alimentados con T2 y T3.

Discusión

El incrementar los indicadores de eficiencia productiva en la avicultura ha incursionado en buscar nuevos productos que sean sustitutos alternativos al uso de antibióticos que pueda estar asequible económicamente y de fácil disponibilidad en el mercado, siendo el Ecobiol (*Bacillus amyloliquefaciens*) y ProPhorce (tributirina) aditivos de fácil comercialización en la producción avícola, Ortiz [5] ha reportado un mejor rendimiento en el peso final (2575 gr) disminuyendo 2.5 días menos al grupo testigo, una mejor conversión alimenticia comparado con el grupo testigo (1,98 vs 2,06) y una menor mortalidad adicionando Ecobiol en las dietas de pollos de engorde, Lei [8], igualmente ha reportado en pollos de engorde una mejor eficiencia productiva en términos de ganancia de peso (2079 g vs 1985 g), consumo de alimento (3771 g vs 3692 g) y conversión alimenticia (1,81 vs 1,86) que el tratamiento testigo. Con respecto a la tributirina se ha reportado que es una alternativa al ácido butirato, mejorando el rendimiento y atenuación de la inflamación intestinal en producción animal [9]., Panizo [10], evaluó la inclusión de tres niveles de una combinación entre tributirina, levadura hidrolizada y proteinato de zinc para medir el impacto en las variables productivas de pollos broiler, siendo la adición de menor cantidad el de mejores resultados productivo. Los resultados del presente trabajo fueron diferentes a los reportados por otros autores y se atribuye al efecto de la altura a la que fue realizado cada trabajo reportado. Iñiguez et al [11], define la integridad intestinal como el funcionamiento optimo del intestino, permitiendo un mejoramiento de los parámetros zootécnicos, por ende, los productos acidificantes que reducen el pH del tracto digestivo se ha reportado que incrementa la proliferación de lactobacilos y disminuye la flora patógena, los resultados del pH del duodeno, yeyuno e íleon más acido fue del tratamiento testigo, y del tratamiento que se adiciono Ecobiol.

La trazabilidad de una producción finaliza con la comercializaron que se le da a las canales, el precio de venta se fija con base a su peso a la matanza y en una evaluación subjetiva de la condición corporal, siendo el peso de los cortes primarios importante reportar para predecir la composición corporal en animales vivos próximos a la matanza, de acuerdo con Méndez Zamora et al [12], pocos datos han sido reportados en cortes primarios, y el efecto que tiene en el rendimiento de las piezas; adicionalmente la importancia de determinar el volumen de las canales siendo el valor de las importaciones entre el volumen de carne importado de cada año variando en el precio y proyecciones de producción de carne. El adicionar aditivos en la alimentación de pollo de engorda Sasso mostro diferencias estadísticamente significativas entre

las medias de los tratamientos de los parámetros productivos, pH intestino delgado, pH muscular, peso cortes primarios y volumen,

Referencias

[1] Soto, F. P., Hernández, E. F., & García, J. A. (2014). La avicultura en México: retos y perspectiva. Aportaciones en Ciencias Sociales: economía y humanidades.
[2] Betancourt López, L. (2020). Alternativas naturales como para aves (No. 91). Universidad de la Salle.
[3] Haldar, S. (2019). Assessment of tributyrin as a replacement for antibiotic growth promoters in broiler diets: effects on performance, selected bacterial population in digesta, intestinal histo-morphology and immune responses (measured through vaccine titres). Acta Scientific Veterinary Sciences, 1, 22-31.
[4] Gong, L., Xiao, G., Zheng, L., Yan, X., Qi, Q., Zhu, C. Feng, X., Huang, W., and Zhang, H. (2021). Effects of dietary tributyrin on growth performance, biochemical indices, and intestinal microbiota of yellow-feathered broilers. Animals, 11(12), 3425.
[5] Ortiz, A. (2013). Efecto de Ecobiol probiótico en el rendimiento de pollos de engorde. Conferencia: 19 de Simposio Europeo sobre los pollos de Nutrición, Alemania. http://www.researchgate.net/publication/259751576_Effect_of_probiotic_Ec obiol_on_broiler_performance
[6]NOM-033-SAG/ZOO-2014. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres.
[7] SAS. (2002) SAS User´s Guide: Statistics. Ver 9.0. IN INSTITUTE, S. (Ed.). Cary, N.C.USA.
[8] Lei, X. (2015). Efecto de Bacillus amyloliquefaciens basada en-directo alimentado microbiana en el rendimiento, la utilización de nutrientes, intestinal Morfología y cecal microflora en pollos de engorde. AsianAustralas. J. Anim. Sci>Volume 28(2). http://dx.doi.org/10.5713/ajas.14.0330
[9] Wang, J., Fu, S., Zou, X., Luo, C., Shu, D., & Qu, H. (2021). The impact of tributyrin on performance and intestinal health of broiler chickens post coccidiosis vaccination. Avian Diseases, 65(3), 493-499. https://doi.org/10.1637/aviandiseases-D-20-00041
[10] Panizo Asimbaya, S. A. (2021). Inclusión de tres niveles de una combinación entre tributirina, levadura hidrolizada y proteinato de zinc para medir el impacto en las variables productivas de Pollos Broiler (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).
[11] Iñiguez Heredia, F. A., Espinoza Bustamante, X. E., & Galarza Molina, E. L. (2021). Uso de probióticos y ácidos orgánicos como estimulantes del desarrollo de aves de engorde: artículo de revisión. Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria, 5(14), 166-172.
[12] Méndez Zamora, G., García Macías, J. A., Durán-Meléndez, L. A., Herman-Lara, E., Santellano Estrada, E., & Silva Vázquez, R. (2015). Aceite esencial de orégano (Lippia berlandieri Schauer) en variables de calidad de la canal de pollo. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 2(4), 41-51.

Cuadro 1. Comportamiento Productivo en pollos de engorda alimentados con dietas que contenían Ecobiol y ProPhorce.

	T1	T2	T3	T4	EE[1]	Valor *p*
Peso vivo inicial (g)	397.88	402.44	400.90	390.72	3.6466	0.1089
Peso vivo final (g)	2380.83[a]	2391.33[a]	2481.75[a]	2095.64[b]	54.2950	<.0001
Consumo total de alimento (g)	5853.9	5731.4	5958.9	5887.8	117.2193	0.6052
Consumo de alimento diario (g)	124.54	121.80	126.66	127.83	2.1477	0.2368
Ganancia diaria de peso (g)	42.07[a]	41.69[a]	44.28[a]	36.22[b]	1.0833	<.0001
Ganancia total de peso (g)	1996.45[a]	1993.11[a]	2081.50[a]	1702.43[b]	52.7629	<.0001
Conversión Alimenticia	2.98[b]	2.80[c]	2.87[bc]	3.37[a]	0.0439	<.0001
Eficiencia Alimenticia	0.33[b]	0.35[a]	0.34[ab]	0.29[c]	0.0051	<.0001

[1]Error estándar medio, T1: Testigo, T2: Ecobiol 500g/Ton, T3: ProPhorce 1kg/Ton, T4: ProPhorce + Ecobiol, [a, b] Medias con distinta literal dentro de la misma hilera son diferentes (p<0.05).

AVEM
Aviespecialistas de México

Cuadro 2. pH del duodeno, yeyuno e íleon en pollos de engorda alimentados con dietas que contenían Ecobiol y ProPhorce.

	T1	T2	T3	T4	EE[1]	Valor *p*
ph Duodeno	6.19[b]	6.07[b]	6.40[a]	6.41[a]	0.0376	<.0001
ph Yeyuno	6.27[b]	6.22[b]	6.53[a]	6.52[a]	0.0295	<.0001
pH Íleon	6.57[b]	6.52[b]	6.73[a]	6.64[ab]	0.0399	0.0009

[1]Error estándar medio, T1: Testigo, T2: Ecobiol 500g/Ton, T3: ProPhorce 1kg/Ton, T4: ProPhorce + Ecobiol, [a, b] Medias con distinta literal dentro de la misma hilera son diferentes (p<0.05).

Cuadro 3. pH del musculo *Pectoralis major, Tibialis internus y glutaeus major* de pollos alimentados con Ecobiol y ProPhorce.

	T1	T2	T3	T4	EE[1]	Valor *p*
pH Pechuga, 45 m	6.51[a]	6.47[ab]	6.33[b]	6.38[ab]	0.0400	0.0027

pH Pechuga, 24 h	6.29[a]	6.20[b]	6.20[b]	6.26[ab]	0.0206	0.0032
pH Pierna, 45 m	6.57[a]	6.53[a]	6.42[b]	6.46[ab]	0.0296	0.0296
pH Pierna, 24 h	6.37[a]	6.30[b]	6.36[ab]	6.37[a]	0.0197	0.0234
pH Muslo, 45 m	6.53	6.51	6.43	6.50	0.0318	0.0909
pH Muslo, 24 h	6.39[a]	6.31[b]	6.36[ab]	6.42[a]	0.0188	0.0008

[1]Error estándar medio, T1: Testigo, T2: Ecobiol 500g/Ton, T3: ProPhorce 1kg/Ton, T4: ProPhorce + Ecobiol, [a, b] Medias con distinta literal dentro de la misma hilera son diferentes (p<0.05).

Cuadro 4. Peso de los cortes primarios (gr) de pollos alimentados con Ecobiol y ProPhorce.

	T1	T2	T3	T4	EE[1]	Valor *p*
Peso Cabeza	56.73[ab]	54.28[b]	58.06[a]	53.63[b]	0.8955	0.012
Peso Cuello	130.21	125.69	128.14	126.72	2.1191	0.4693
Peso Alas	196.17	190.53	195.15	191.56	3.0047	0.4869
Peso Pechuga	432.96	412.93	426.41	394.55	10.9883	0.0672
Peso Piernas	207.67	216.37	211.21	213.92	3.6413	0.3862
Peso Muslo	270.29[a]	231.11[c]	245.00[bc]	257.24[ab]	5.5875	<.0001
Peso Rabadilla	193.39[b]	193.38[b]	205.94[ab]	210.53[a]	3.8739	0.0028
Peso Huacal	142.97[ab]	150.53[a]	136.71[b]	147.74[ab]	3.6101	0.0454
Peso Patas	76.21	76.42	78.03	78.44	1.5798	0.6787

[1]Error estándar medio, T1: Testigo, T2: Ecobiol 500g/Ton, T3: ProPhorce 1kg/Ton, T4: ProPhorce + Ecobiol, [a, b, c] Medias con distinta literal dentro de la misma hilera son diferentes (p<0.05).

Cuadro 5. Volumen de pechuga, pierna y muslo de pollos alimentados con Ecobiol y ProPhorce.

	T1	T2	T3	T4	EE[1]	Valor *p*
Volumen Pechuga	402.12[a]	372.86[ab]	378.03[ab]	365.81[b]	9.6890	0.0657
Volumen Pierna	193.75[ab]	200.96[a]	192.50[ab]	186.56[b]	3.4299	0.0296
Volumen Muslo	252.93[a]	220.71[b]	223.38[b]	235.62[ab]	5.1697	<.0001

[1]Error estándar medio, T1: Testigo, T2: Ecobiol 500g/Ton, T3: ProPhorce 1kg/Ton, T4: ProPhorce + Ecobiol, [a, b, c] Medias con distinta literal dentro de la misma hilera son diferentes (p<0.05).

AVEM
Aviespecialistas de México

EFECTO DE *Bacillus amyloliquefaciens* Y TRIBUTIRINA SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO, CALIDAD DEL HUEVO Y MORFOLOGÍA INTESTINAL EN GALLINAS PONEDORAS

Oscar Vicente Vazquez Mendoza1, V.M. Valdes2, V.D. Naranjo3, R. Santiago1, E. Rosales4, P. Vazquez5, M.A. Ortiz-Heredia5
[1]Evonik México SA de CV, [2]Asesor independiente, [3]Evonik Guatemala SA, [4]Centro de Investigación Aplicada en Nutrición Avícola SA de CV, [5]Universidad Autónoma de Chiapas
oscar.vazquez@evonik.com

Resumen
El objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia de la adición del probiótico *Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940 (ECOBIOL), tributirina (PROPHORCE) y la combinación de estos (ECO+PRO) sobre el desempeño productivo, calidad del huevo y morfología intestinal de gallinas ponedoras ligeras de la estirpe Hy-Line W80 de 37 semanas de edad. Se utilizaron 1200 gallinas que fueron distribuidas aleatoriamente en cuatro tratamientos con 12 réplicas y 25 gallinas por replica. El estudio duró 12 semanas. Las gallinas del grupo control (CONTROL) fueron alimentadas con una dieta basal hecha de maíz-pasta de soya, los otros grupos recibieron la misma dieta basal con la adición de ECOBIOL en dosis de 500 g/t, PROPHORCE en dosis de 250 g/t y ECO+PRO en dosis de 500+250 g/t. Las gallinas que recibieron la dieta con ECO+PRO mostraron mayor (P<0.05) consumo de alimento que aquellas de la dieta con PROPHORCE. El mismo resultado se observó para el total de kilos de huevo por ave alojada, que fue mayor (P<0.05) 150 g en ECO+PRO respecto a PROPHORCE. El peso final y la ganancia de peso total fue mayor (P<0.05) en las gallinas del grupo PROPHORCE comparado con CONTROL y ECOBIOL. En tanto que la mortalidad acumulada fue reducida (P<0.05) en los tratamientos ECOBIOL (1.8%) y ECO+PRO (4.2%) respecto al CONTROL. La humedad de heces de las gallinas del grupo ECO+PRO fue 3.27% menor (P<0.05) que aquella del grupo CONTROL, mientras que las Unidades Haugh del huevo de las gallinas del grupo ECO+PRO fue mayor (P<0.05) que CONTROL y PROPHORCE. La altura de vellosidades del duodeno fue inferior (P<0.05) en el grupo PROPHORCE comparada con el resto de tratamientos, mientras que, en yeyuno, la altura de la vellosidad fue mayor (P<0.05) en los tratamientos ECOBIOL y ECO+PRO comparados al CONTROL, en tanto que en íleon la altura de vellosidades fue mayor (P<0.05) en el grupo PROPHORCE comparado con ECO+PRO. Basado en los resultados de este estudio se concluye que el uso de ECOBIOL o ECO+PRO tiene el potencial para mejorar el desempeño productivo, calidad interna del huevo y altura de vellosidades en gallinas ponedoras.
Palabras Clave: postura, altura de vellosidades, Unidades Haugh, salud intestinal, probióticos

Abstract
The objective of this study was to evaluate the efficacy of the addition of the probiotic *Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940 (ECOBIOL), tributyrin (PROPHORCE) and the combination of these (ECO+PRO) on the productive performance, egg quality and intestinal morphology of laying hens 37 weeks-old, strain Hy-Line W80. A total of 1200 hens were randomly distributed in four treatments with 12 replicates and 25 hens per replicate. The study lasted 12 weeks. The control group hens (CONTROL) were fed with a basal diet made from corn-soybean meal, the other groups received the same basal diet with the addition of ECOBIOL at a dose of 500 g/t, PROPHORCE at a dose of 250 g/t and ECO+PRO at a dose of 500+250 g/t. Hens receiving the ECO+PRO diet showed higher (P<0.05) feed intake than those on the PROPHORCE diet. The same result was observed for total kilograms of eggs per housed bird, which was greater (P<0.05) 150 g in ECO+PRO compared to PROPHORCE. Final weight and total weight gain was higher (P<0.05) in PROPHORCE group hens compared to CONTROL and ECOBIOL. While the accumulated mortality was reduced (P<0.05) in the ECOBIOL (1.8%) and ECO+PRO (4.2%) treatments with respect to the CONTROL. The fecal moisture of ECO+PRO hens' group was 3.27% lower (P<0.05) than the CONTROL group, while the egg Haugh Units of ECO+PRO group hens was higher (P<0.05) than the CONTROL and PROPHORCE groups. The duodenal villi height was lower (P<0.05) in PROPHORCE group compared to the rest of the treatments, while, in the jejunum, the villi height was higher (P<0.05) in ECOBIOL and ECO+PRO treatments compared to CONTROL, while in ileum the height of villi was higher (P<0.05) in the PROPHORCE group compared to ECO+PRO. Based on the results of this study, is concluded that the use of ECOBIOL or ECO+PRO has the potential to improve productive performance, internal egg quality and villi height in laying hens.
Key Words: egg lay, villi height, Haugh Units, gut health, probiotics

Introducción

La demanda de alimentos para una población en constante crecimiento es uno de los grandes retos a nivel mundial. La carne de pollo y el huevo son las proteínas de origen animal más demandadas para esta población creciente por lo que es necesario eficientizar los sistemas de producción. En el caso de la producción de huevo se espera entre el año 2020 a 2030, el 76.6 % del crecimiento global esperado sucederá en países en vías de desarrollo, donde México ocupa la cuarta posición [1].

Dentro de los costos de producción de huevo, la alimentación sigue siendo la variable más importante, sin embargo, el alimento es probablemente también el componente más importante que puede exponer a las aves a una amplia variedad de factores potencialmente peligrosos que afectan la barrera física, química, inmunológica y microbiológica del intestino [2], lo que puede reflejarse en problemas de salud y pobre desempeño productivo.
Dentro de los factores que afectan la salud intestinal en aves están el contenido de polisacáridos no amiláceos en la dieta, la textura y granulometría del alimento, agentes infecciosos como bacterias, virus y parásitos, micotoxinas, antibióticos promotores de crecimiento, calidad del agua, factores anti nutricionales como inhibidores de la tripsina en pasta de soya, grasas rancias, aminas biogénicas en harinas de origen animal, exceso de nitrógeno en la dieta [2, 3]. En condiciones prácticas es difícil tener control sobre todos los factores que afectan la salud intestinal de las gallinas por lo que es común el uso de aditivos nutricionales enfocados en mantener la homeostasis de su intestino. Algunas de los aditivos más estudiados en la actualidad son los probióticos y los ácidos orgánicos, y en especial las fuentes de ácido butírico.

El empleo de probióticos como el *Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940 en pollos de engorda mejora el desempeño productivo a través del aumento de la capacidad antioxidante y del sistema inmune, además de la actividad enzimas digestivas [4]. Mientras que en gallinas ponedoras, la adición del probiótico *Bacillus amyloliquefaciens* en dosis entre 1 x 10^7 y 2 x 10^7 UFC/g de alimento mejora significativamente la producción del huevo y la resistencia del cascarón, además incrementa el número de *Lactobacillus* mientras que reduce la concentración de *Escherichia coli* y *Salmonella* [5]. Por otro lado, la adición de ácido butírico en forma de tributirina en dosis de 500 g/t de alimento en dietas de gallinas Lohmann Brown-Classic de 56 semanas de edad mejoró el grosor del cascarón y el peso del cascarón, pero no otros parámetros [6]. En gallinas reproductoras pesadas la adición de tributirina en las dietas mejoró la calidad del huevo en cuanto a peso, altura del albumen y Unidades Haugh, además que redujo la expresión de genes relacionados con la apoptosis celular en el ovario, con lo que se mejora la función del tracto reproductivo [7]. A pesar que existen estudios individuales donde el empleo del probiótico o la tributirina (glicérido de ácido butírico) afecta positivamente la salud intestinal, la producción y la calidad del huevo, se tiene poca evidencia sobre si la adición conjunta de estos aditivos tiene un efecto sinérgico que se refleje en un mejor desempeño productivo de las gallinas. Por ende, el objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia de *Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940 y tributirina sobre el desempeño productivo, calidad del huevo y morfología intestinal de gallinas ponedoras ligeras bajo condiciones ambientales de producción en Jalisco México.

Materiales y Métodos

Animales

Se emplearon 1200 gallinas de la estirpe Hy Line W80 con 37 semanas de edad y un peso promedio inicial de 1652.70 ± 21.57 g. Las aves se alojaron en una caseta de producción de ambiente natural, en jaulas tipo california con forma piramidal de tres niveles, con comedero de canaleta y bebedero de copa, cada jaula con capacidad de 5 gallinas por nido, proporcionando un espacio de 400 cm^2/gallina. Las gallinas fueron distribuidas en un diseño completamente al azar con 4 tratamientos y cada una contó con 12 réplicas de 25 gallinas.

Tratamientos y dieta

Se formuló un alimento en harina Fase 1 con base en maíz blanco, pasta de soya, pasta de canola y aceite vegetal (Cuadro 1), los perfiles nutricionales de energía y aminoácidos fueron calculados de acuerdo con las ecuaciones de Rostagno et al. [8]. El consumo de alimento y agua fueron a libre acceso. Los productos evaluados fueron el probiótico *Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940 2E9 UFC/g (Ecobiol® 500; Evonik Operations GmbH, Alemania) y tributirina 60% (ProPhorce® SR 130; Perstorp, Países Bajos)

AVEM Aviespecialistas de México

Cada unidad experimental fue distribuida aleatoriamente en los siguientes tratamientos:

- **CONTROL:** Dieta basal estándar de postura sin aditivos
- **ECOBIOL:** Dieta basal + Ecobiol® 500 en dosis de 0.50 kg/t de alimento
- **PROPHORCE:** Dieta basal + ProPhorce® SR 130 en dosis 0.25 kg/t de alimento
- **ECO+PRO:** Dieta basal + 0.50 kg/0.25 kg / t de alimento de Ecobiol® 500/ProPhorce® SR 130, respectivamente.

Cuadro 1. Dieta basa de postura empleada en el experimento, expresada en base tal como se ofrece

Ingredientes (%)	Periodo de postura 37-49 semanas
Maiz molido	63.150
Pasta de soya, 47 %PC	19.100
Canola	5.700
Aceite vegetal	1.150
Carbonato de calcio grueso	5.300
Carbonato de calcio fino	4.100
Fosfato monodicalcico	0.570
Bicarbonato de sodio	0.100
Sal	0.310
Premezcla de vit/min[1]	0.200
DL-Metionina	0.195
Fitasa y pigmentos	0.025
L-lisina HCL	0.100
L-Treonina	0.005
Total	100

[1]Premezcla de vitaminas y minerales: cada 1 kg contenía vitamina D3, 1,300 IU; vitamina A, 8,000 IU; vitamina E 4.5 IU; vitamina K, 2 mg; vitamina B1, 0.7 mg; vitamina B2, 3 mg; vitamina B6, 1.5 mg; vitamina B12, 7 mg; biotina 0.1 mg; ácido pantoténico, 6 g; niacina, 20 g; ácido folico,1 mg; manganeso, 60 mg; zinc, 50 mg; cobre, 6 mg; iodo, 1 mg; selenio, 0.5 mg; cobalto, 1 mg.

AVEM
Aviespecialistas de México

Cuadro 2. Concentración de nutrientes calculados y medidos en las dietas experimentales.

Nutrientes (%)[1]	Periodo de postura, 37-49 semanas				
	Calculado	Medido[2]			
	FORMULADO	CONTROL	ECOBIOL	PROPHORCE	ECO+PRO
Proteína cruda,%	16.14	16.28	15.91	15.13	16.5
EMAn, MJ/kg	11.92	11.36	11.4	11.47	11.51
EMAn, kcal/kg	2850	2714	2722	2739	2748
Materia seca, %	88.43	88.51	88.06	88.11	88.32
Grasa total, %	3.87	4.1	3.9	3.77	3.8
Fibra cruda, %	2.75	2.7	2.6	2.97	2.6
FDN, %	9.93	9	8.9	8.9	8.9
Lys SID, %	0.78	0.94	0.91	0.84	0.92
Met SID, %	0.43	0.42	0.39	0.39	0.41
M+C SID, %	0.66	0.72	0.68	0.66	0.71
Thr SID, %	0.51	0.64	0.61	0.58	0.64
Trp SID, %	0.17	-	-	-	-
Arg SID, %	0.91	1.05	0.98	0.93	1.02
Val SID, %	0.67	0.8	0.78	0.71	0.77
Ca, %	4				
P, %	0.47	0.54	0.5	0.46	0.47
P av, %	0.41				
Ecobiol, UFC/g		0	2^6		1.2^6

[1]Valores calculados, EMAn= energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno.
[2]CONTROL: Dieta basal sin aditivos; ECOBIOL= *Bacillus amyloliquefaciens* en dosis de 0.50 kg/t; PROPHORCE= tributirina en dosis de 0.25 kg/t; ECO+PRO= combinación de *Bacillus amyloliquefaciens* y tributirina en dosis de 0.5 y 0.25 kg/t respectivamente. Valores medidos por química húmeda, AMINOLab® and AMINOFeed® poultry. Los aminoácidos medidos son totales.

Producción

Semanalmente se calculó el porcentaje de postura, peso promedio del huevo (g), consumo de alimento / ave / día (g), conversión alimentaria (kg: kg), masa de huevo / ave / día (g), así como el porcentaje de huevo sucio y de huevo roto.
Al final de la prueba se calculó el porcentaje de mortalidad acumulada, el número y kilogramos de huevos por ave encasetada y el índice de conversión acumulado. Al inicio y final del experimento se pesaron 10 gallinas por réplica para calcular la ganancia o pérdida de peso corporal.

AVEM Avicespecialistas de México

Calidad del huevo

Al finalizar el experimento se tomaron 40 huevos por tratamiento para realizar la evaluación de la calidad del huevo (resistencia del cascarón y medición de la calidad interna) con un texturómetro DET 6000 (NABEL Co., Ltd. Japón).

Humedad en heces

La humedad en las heces se midió a las 4 y 12 semanas del estudio. Para este estudio fue suficiente medir la humedad de 3 réplicas/tratamiento, recolectando 150 g de excretas en bolsas de plástico y se llevaron al laboratorio de Senzoo S.A de C.V. para determinación de materia seca en estufa de aire forzado.

Morfología intestinal

Al finalizar las 12 semanas de estudio se hizo un estudio histológico para medir largo y ancho de vellosidades intestinales de duodeno, yeyuno e íleon, así como la profundidad de cripta. El estudio se realizó en la Facultad de Medicina Veterinaria

y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex). Las muestras de duodeno, yeyuno e íleon (2 cm antes del divertículo de Meckel) de 4 cm recolectadas de tres aves por tratamiento se fijaron en formol al 10% y se procesaron mediante la técnica de inclusión por parafina en un procesador de tejidos automático, (Scientific Instrument modelo T/P 8000, Estados Unidos de América) los bloques de parafina se cortaron con un micrótomo de avance automático (American Optical Company, mod. Spencer 820, Estados Unidos de América) a seis micrómetros de grosor y se montaron las muestras con resina sintética, (Sigma Chemical Co, Estados Unidos de América) en portaobjetos de 25 × 75 mm. Los cortes obtenidos se tiñeron con hematoxilina-eosina y PAS (ácido peryódico de Shiff), posteriormente las laminillas fueron observadas en un microscopio fotónico (Carl Zeiss, 37081, Alemania) con cámara fotográfica. La toma de fotografías y las mediciones de éstas se realizaron mediante el empleo del software analizador de imágenes (Motic Images 2000-1.3, PC Gateway modelo 3242M, Estados Unidos de América). Las muestras se orientaron longitudinalmente para su inclusión, corte y observación. La medición de las vellosidades intestinales se realizó desde la punta a la base (cripta), a 40X. La calibración del software para la medición de la longitud de las vellosidades se realizó mediante el empleo de una cámara de Neubauer. Se calculo el área de las vellosidades intestinales, considerando a la vellosidad como estructura cilíndrica, empleando la siguiente formula: área de la vellosidad= $2\pi \times$ (ancho promedio de la vellosidad /2) × altura de la vellosidad [9]. También se calculó la relación vellosidad:cripta dividiendo la altura de la vellosidad entre la profundidad de cripta.

Análisis estadístico

Antes de realizar el análisis estadístico se les verificó los supuestos de normalidad a las variables estudiadas. A las variables productivas se le realizó un análisis de medidas repetidas en el tiempo con tratamiento, semana y su interacción como factores fijos, la estructura repetida fue el número de semana y el individuo fue la jaula de 25 aves por réplica dentro de tratamiento. La estructura de covarianza fue autorregresiva, ante dependiente, varianza igual ante dependiente y sin estructura de acuerdo con los valores más bajos de los indicadores AIC y BIC en cada variable. Para este análisis se empleó el PROC MIXED de SAS 9.4.

Para mortalidad semanal y mortalidad acumulada se realizó la prueba Kruskal-Wallis debido a que están variables no cumplen con los supuestos de normalidad y homocedasticidad y la comparación de medias se realizó por medio de la prueba de Steel-Dwass.

Las variables de calidad interna del huevo y humedad de las heces se analizaron de acuerdo con un diseño completamente al azar con tratamiento, semana de medición y su interacción como efectos fijos empleando el PROC GLM de SAS 9.4.

Para el análisis de la morfología intestinal se consideraron como efectos fijos el tratamiento, la sección del intestino (duodeno, yeyuno e íleon) y su interacción empleando el PROC GLM de SAS 9.4.

A todas las variables se les realizó la comparación de las medias mediante la prueba de Tukey ($P<0.05$).

Resultados

La inclusión de ECOBIOL, PROPHORCE y su combinación en la dieta no modificó ($P>0.05$) la postura, peso del huevo, masa del huevo, conversión alimenticia acumulada, número de huevos por ave alojada durante 12 semanas y el porcentaje de huevo sucio y roto (Cuadro 3). Sin embargo, el consumo de alimento diario fue mayor en el tratamiento ECO+PRO respecto al tratamiento PROPHORCE, pero similar a los otros tratamientos. En el mismo sentido, la cantidad de kilos de huevo acumulados por ave alojada después de 12 semanas fue mayor ($P<0.05$) en el grupo ECO+PRO respecto al grupo PROPHORCE, aunque similar a los otros grupos.

Cuadro 3. Indicadores del desempeño productivo de gallinas ponedoras de 37 a 49 semanas de edad alimentadas con dietas adicionadas con Bacillus amyloliquefaciens, tributirina y su combinación.

	TRATAMIENTO[1]					Valor de P[2]		
VARIABLE	CONTROL	ECOBIOL	PROPHORCE	ECO+PRO	EEM	TRAT	SEM	TRAT*SEM
Postura, %	95.71	95.64	95.04	96.43	0.477	0.247	0.005	0.122
Peso del huevo, g	61.56	61.34	61.36	61.27	0.094	0.158	<0.0001	0.582
Masa de huevo, g	58.92	58.66	58.32	59.07	0.291	0.296	0.002	0.026
Consumo, g	106.54ab	106.82ab	105.87b	107.24a	0.303	0.020	<0.0001	0.005
Conversión acumulada, kg:kg	1.85	1.83	1.86	1.82	0.013	0.716	<0.0001	0.123
Huevos ave alojada, n	78.64	79.36	78.08	80.7	0.778	0.257	<0.0001	0.339
Kilos ave alojada, semana 49	4.84ab	4.87ab	4.79b	4.94a	0.031	0.661	<0.0001	0.017
Huevo roto, %	0.35	0.27	0.40	0.26	0.055	0.232	0.7262	0.635
Huevo sucio, %	4.51	4.57	4.51	4.51	0.490	0.990	<0.0001	0.870

[1]CONTROL: Dieta basal sin aditivos; ECOBIOL= *Bacillus amyloliquefaciens* en dosis de 0.50 kg/t; PROPHORCE= tributirina en dosis de 0.25 kg/t; ECO+PRO= combinación de *Bacillus amyloliquefaciens* y tributirina en dosis de 0.5 y 0.25 kg/t respectivamente.
[2]TRAT= efecto fijo de tratamiento; SEM=efecto fijo de semana; TRAT*SEM= efecto de la interacción tratamiento y semana. EEM= error estándar de la media.

El peso inicial de las gallinas no fue diferente entre tratamientos. Sin embargo, el peso final y la ganancia de peso total fueron mayores (P<0.05) en el tratamiento PROPHORCE comparado con los grupos CONTROL y ECOBIOL, pero similar al grupo ECO+PRO (Cuadro 4). La mortalidad semanal y acumulada fue diferente (P<0.05) entre tratamientos, donde los tratamientos ECOBIOL y ECO+PRO tuvieron las mortalidades más bajas respecto al grupo CONTROL. La humedad en heces también fue afectada por la adición de los aditivos, en donde el tratamiento ECO+PRO mostró una humedad menor (P<0.05) que el grupo CONTROL, pero similar a los otros tratamientos.

Cuadro 4. Datos de peso, mortalidad y humedad en heces de gallinas ponedoras de 37 a 49 semanas de edad alimentadas con dietas adicionadas con Bacillus amyloliquefaciens, tributirina y su combinación.

	TRATAMIENTO[1]					Valor de P
VARIABLE	CONTROL	ECOBIOL	PROPHORCE	ECO+PRO	EEM	TRAT
Peso inicial, g	1649.08	1655.67	1656.13	1649.96	6.36	0.7975
Peso final, g	1695.95b	1692.58b	1748.17a	1727.50ab	15.64	0.0463
Ganancia de peso, g/12 semanas	46.88b	36.92b	92.04a	77.54ab	15.16	0.0457
Mortalidad semanal, puntuación	32.08a	22.83b	27.67ab	15.42b		0.0153
Mortalidad semanal, %	0.44	0.28	0.46	0.09	0.10	
Mortalidad acumulada, puntuacion	32.08a	22.83b	27.67ab	15.42b		0.0153
Mortalidad acumulada, %	5.23	3.42	5.56	1.02	1.20	
Humedad en heces, %	76.55a	75.75ab	74.49ab	73.28b	0.63	0.0066

[1]CONTROL: Dieta basal sin aditivos; ECOBIOL= *Bacillus amyloliquefaciens* en dosis de 0.50 kg/t; PROPHORCE= tributirina en dosis de 0.25 kg/t; ECO+PRO= combinación de *Bacillus amyloliquefaciens* y tributirina en dosis de 0.5 y 0.25 kg/t respectivamente. EEM= error estándar de la media. La mortalidad semana y acumulada están expresadas en valores transformados a puntuación de rangos y los valores en la unidad de medida original.

La adición de los aditivos a la dieta no afectó (P>0.05) la resistencia del cascarón, aunque la resistencia a la ruptura de los huevos del grupo ECO+PRO fue numéricamente mayor al resto de tratamientos. Hubo efecto de semana de muestreo sobre la resistencia del cascarón, donde los huevos de gallinas más adultas (diferencia de 6 semanas) mostraron la resistencia más baja (P<0.05). La calidad interna del huevo expresada como Unidades Haugh fue afectada por la adición

de los aditivos, donde el grupo ECO+PRO mostró un valor más alto (P<0.05) comparado con los grupos CONTROL y PROPHORCE. La semana de muestreo no afectó (P>0.05) la calidad interna (Cuadro 5).

Cuadro 5. Indicadores de calidad interna y externa del huevo de gallinas ponedoras de 37 a 49 semanas de edad alimentadas con dietas adicionadas con Bacillus amyloliquefaciens, tributirina y su combinación.

	TRATAMIENTO[1]					SEMANA			Valor de P[2]		
VARIABLE	CONTROL	ECOBIOL	PROPHORCE	ECO+PRO	EEM	43	49	EEM	TRAT	MED	TRA*MED
Resistencia del cascarón, g/cm^2	5252.67	5291.78	5370.22	5418.22	88.53	5446.84a	5254.90b	62.60	0.5438	0.0108	0.1474
Unidades Haugh	83.30b	84.88ab	84.08b	85.77a	0.57	84.14	84.87	0.41	0.0183	0.2043	0.5515

[1]CONTROL: Dieta basal sin aditivos; ECOBIOL= *Bacillus amyloliquefaciens* en dosis de 0.50 kg/t; PROPHORCE= tributirina en dosis de 0.25 kg/t; ECO+PRO= combinación de *Bacillus amyloliquefaciens* y tributirina en dosis de 0.5 y 0.25 kg/t respectivamente.
[2]TRAT= efecto fijo de tratamiento; MED=efecto fijo de semana de medición; TRAT*SEM= efecto de la interacción tratamiento y semana de medición. EEM= error estándar de la media.

La morfología intestinal fue afectada por la adición de los aditivos (Cuadro 6). La altura de las vellosidades intestinales en duodeno fue inferior (P<0.05) en el tratamiento PROPHORCE respecto a los otros tratamientos. La amplitud de las vellosidades no fue diferente (P>0.05) entre tratamientos, aunque la profundidad de cripta si mostro diferencias entre los grupos experimentales, y en este caso el tratamiento ECOBIOL mostro una profundidad mayor (P<0.05) al grupo ECO+PRO. La relación altura de vellosidades:profundidad de cripta no fue afectada por los aditivos. Mientras que el área de la vellosidad fue inferior (P<0.05) el grupo PROPHORCE respecto a los otros tratamientos.

Cuadro 6. Morfología intestinal de gallinas ponedoras de 49 semanas de edad alimentadas con dietas adicionadas con Bacillus amyloliquefaciens, tributirina y su combinación

	TRATAMIENTO[1]				Valor de P[2]		
	CONTROL	ECOBIOL	PROPHORCE	ECO+PRO	TRAT	SECCIÓN	TRAT*SECC
Duodeno							
Altura, µm	1148.64±50.12a	1066.29±35.44a	932.29±30.69b	1098.10±34.05a	0.0002	<.0001	<.0001
Ancho, µm	257.35±19.29	265.22±13.64	238.85±11.81	280.95±13.10	0.1195	<.0001	0.5763
Profundidad, µm	167.91±8.50ab	177.91±6.01a	161.36±5.21ab	154.44±5.77b	0.0392	<.0001	0.0023
A/P[3]	7.10±0.71	6.07±0.50	5.97±0.44	7.42±0.48	0.0920	<.0001	0.0185
Área, µm^2	921 870±65 510a	904 070±46 323a	702 572±40 117b	966 798±44 506a	<.0001	<.0001	0.0035
Yeyuno							
Altura, µm	693.49±34.05b	869.24±28.93a	770.4±30.69ab	813.45±27.45a	0.0012		
Ancho, µm	190.46±13.10	168.54±11.14	182.17±11.81	201.46±10.56	0.1894		
Profundidad, µm	84.87±5.77b	98.79±4.91ab	103.43±5.21ab	105.20±4.66a	0.0400		
A/P	8.55±0.48	8.91±0.41	7.75±0.44	7.88±039	0.1617		
Área, µm^2	412 978±44 506	463 744±37 822	436 045±40 117	521 493±35 882	0.2285		
Íleon							
Altura, µm	581.46±31.70ab	596.28±29.77ab	689.94±28.93a	537.6±28.16b	0.0025		
Ancho, µm	163.72±12.20	173.22±11.46	160.90±11.14	174.79±10.84	0.7713		
Profundidad, µm	79.41±5.38ab	74.80±5.05b	96.61±5.21a	88.73±4.78ab	0.0116		
A/P	7.46±0.45ab	8.25±0.42a	7.31±0.41ab	6.27±0.40b	0.0094		
Área, µm^2	295 512±41 432	323 563±38919	352 659±37 822	297 243±36 814	0.6891		

[1]CONTROL: Dieta basal sin aditivos; ECOBIOL= *Bacillus amyloliquefaciens* en dosis de 0.50 kg/t; PROPHORCE= tributirina en dosis de 0.25 kg/t; ECO+PRO= combinación de *Bacillus amyloliquefaciens* y tributirina en dosis de 0.5 y 0.25 kg/t respectivamente.
[2]TRAT= efecto fijo de tratamiento; SECC=efecto fijo de la sección del intestino; TRAT*SECC= efecto de la interacción tratamiento y sección del intestino.
[3]A/P= Índice altura de vellosidad y profundidad de cripta.

AVEM
Avispecialistas de México

En yeyuno, la altura de la vellosidad fue mayor (P<0.05) en los grupos ECOBIOL y ECO+PRO respecto al grupo CONTROL. Mientras la profundidad de cripta fue mayor (P<0.05) en tratamiento ECO+PRO comparado al grupo CONTROL, pero similar a los otros tratamientos. El ancho de la vellosidad, relación altura de vellosidad:profundidad de cripta y área de vellosidad fue similar (P>0.05) entre tratamientos. Finalmente, en el íleon, la altura de la vellosidad fue mayor (P<0.05) en el grupo PROPHORCE comparado al grupo ECO+PRO, pero similar a los otros tratamientos. La profundidad de cripta mostro el valor más alto (P<0.05) en el grupo PROPHORCE comparado a ECOBIOL, pero no fue diferente a los otros tratamientos. La relación altura de vellosidad:profundidad de cripta fue inferior (P<0.05) en el grupo ECO+PRO respecto al grupo ECOBIOL. El ancho y el área de la vellosidad no se afectó (P>0.05) con la adición de los aditivos.

Discusión

La ausencia de efecto de ECOBIOL sobre la postura en este estudio contrasta con lo observado por Tang et al. [5] quienes observaron un incremento de cerca del 2% en la postura cuando adicionaron *Bacillus amyloliquefaciens* en concentraciones de 1 x 10^7 y 2 x 10^7 UFC/g de alimento a gallinas ponedoras ISA Brown de 28 semanas de edad; mientras que en este estudio las dosis fueron de 1 x 10^6 UFC/g de alimento. El contraste en los resultados posiblemente está asociado a las diferencias en concentración del probiótico, dieta, edad y estirpe de la gallina. La ausencia de efecto de PROPHORCE sobre la postura, conversión alimenticia y peso del huevo en este experimento coincide con estudios previos [6, 7] donde la suplementación con tributirina en dosis de entre 500 a 1000 g/t de alimento de gallinas ponedoras Lohmann Brown-Classic y reproductoras pesadas Arbor Acres no mejoró significativamente las variables productivas. Se ha demostrado que el ácido butírico tiene múltiples efectos sobre la fisiología y morfología del intestino, por lo que su uso es recomendado para mantener la salud intestinal, ya que ejerce efectos antioxidantes, antiinflamatorios, modera la respuesta inmune y sirve como fuente de energía directa para los enterocitos [10], por lo que sus efectos sobre la respuesta productiva y calidad del huevo pueden estar condicionados por la presencia o no de un desafío en la salud intestinal de las gallinas. En este estudio el uso de *Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940 y su combinación con tributirina (ECO+PRO) mejoró el peso de las gallinas, redujo la mortalidad acumulada y la humedad de las heces. Estos efectos puede deberse a las propiedades del ácido butírico [10], y los efectos documentados que tiene el probiótico como la inhibición de *Clostridium perfringens*, incremento de la actividad de enzimas digestivas (amilasa, lipasa y quimiotripsina en el yeyuno), además la reducción de la concentración de citocinas proinflamatorias (FNT-α, IL-1β, IL-6) y aumento de la capacidad antioxidante en el hígado de aves [4].

La calidad del huevo es un factor muy importante para la rentabilidad de la industria productora de huevo. En este estudio la adición de ECOBIOL, PROPHORCE o ECO+PRO no modifico la resistencia del cascarón lo que coincide con otros estudios [6, 7], pero si afectó las Unidades Haugh en especial la combinación de aditivos (ECO+PRO). Lo que contrasta con estudios previos [5, 6, 11] donde no se observó diferencia en este parámetro de calidad, pero coincide con lo observado por Wang et al [7]. Normalmente la calidad interna y externa del huevo decrecen conforme aumenta la edad de las gallinas [12], similar a lo observado en este estudio donde la resistencia del cascaron se redujo significativamente en un intervalo de 6 semanas de medición. El descenso en la calidad interna y externa del huevo empeoran debido a la reducción de la absorción de nutrientes para la formación del cascarón y el incremento en el tamaño y peso del huevo sin incremento proporcional del peso del carbonato de calcio depositado en el cascarón [6, 12].
La altura de vellosidades, área de la vellosidad y la profundidad de cripta fueron afectadas por el tratamiento ECOBIOL, PROPHORCE y ECO+PRO especialmente en yeyuno e íleon, lo que coincide con algunos estudios [11], pero contrasta con otros donde no se observó alguna diferencia al incluir tributirina [6]. El efecto positivo del tratamiento ECO+PRO sobre la morfología intestinal en este estudio podrían estar asociado al hecho de que el ácido butírico puede ser metabolizado directamente por los enterocitos y además reduce la apoptosis celular [7, 10]. Una mayor altura de vellosidades en el intestino delgado está asociado a una mayor capacidad de absorción de nutrientes [11], lo que podría explicar en parte la mejora en la calidad interna y externa del huevo observada en este estudio.

En conjunto los resultados de este estudio permiten concluir que el uso de ECOBIOL o ECO+PRO tiene el potencial mejorar el desempeño productivo, calidad interna del huevo y altura de vellosidades en gallinas ponedoras.

Referencias

[1] H. W. Windhorst. (2021) A projection of egg production until 2030. *Zootecnia Internacional: monthly journal of poultry science and breeding technology*. 22-26.

[2] M. Yegani and D. R. Korver, "Factors affecting intestinal health in poultry," *Poultry Science,* vol. 87, no. 10, pp. 2052-63, Oct 2008.

[3] J. G. Kers, F. C. Velkers, E. A. J. Fischer, G. D. A. Hermes, J. A. Stegeman, and H. Smidt, "Host and Environmental Factors Affecting the Intestinal Microbiota in Chickens," *Frontiers in Microbiology,* vol. 9, p. 235, 2018.

[4] Y. Sun *et al.*, "Effects of dietary Bacillus amyloliquefaciens CECT 5940 supplementation on growth performance, antioxidant status, immunity, and digestive enzyme activity of broilers fed corn-wheat-soybean meal diets," *Poultry Science,* vol. 101, no. 2, p. 101585, Feb 2022.

[5] R. Y. Tang, Z. L. Wu, G. Z. Wang, and W. C. Liu, "The effect of Bacillus amyloliquefaciens on productive performance of laying hens," *Italian Journal of Animal Science,* vol. 17, no. 2, pp. 436-441, 2017.

[6] J. Sakdee, T. Poeikhampha, C. Rakangthong, K. Poungpong, and C. Bunchasak, "Effect of adding tributyrin in diet on egg production, egg quality, and gastrointestinal tract in laying hens after peak period," *The Thai Journal of Veterinary Medicine,* vol. 48, no. 2, pp. 247-256, 2018.

[7] J. Wang *et al.*, "Dietary tributyrin improves reproductive performance, antioxidant capacity, and ovary function of broiler breeders," *Poultry Science,* vol. 100, no. 11, p. 101429, Nov 2021.

[8] H. S. Rostagno *et al.*, H. S. Rostagno, Ed. *Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos, Composición de Alimentos y Requerimientos Nutricionales*, 4 ed. Universidad Federal de Viçosa, 2017, p. 488.

[9] S. Nain, R. A. Renema, M. J. Zuidhof, and D. R. Korver, "Effect of metabolic efficiency and intestinal morphology on variability in n-3 polyunsaturated fatty acid enrichment of eggs," *Poultry Science,* vol. 91, no. 4, pp. 888-98, Apr 2012.

[10] P. Guilloteau, L. Martin, V. Eeckhaut, R. Ducatelle, R. Zabielski, and F. Van Immerseel, "From the gut to the peripheral tissues: the multiple effects of butyrate," *Nutr Res Rev,* vol. 23, no. 2, pp. 366-84, Dec 2010.

[11] H. I. Sánchez *et al.*, "Efecto del butirato de sodio en dietas para gallinas sobre el comportamiento productivo, calidad del huevo y vellosidades intestinales," *Veterinaria México,* vol. 40, no. 4, pp. 397-403, 2009.

[12] J. R. Roberts, K. Chousalkar, and Samiullah, "Egg quality and age of laying hens: implications for product safety," *Animal Production Science,* vol. 53, no. 12, 2013.

AVEM
Aviespecialistas de México

FACTORES NO NEGOCIABLES PARA PROGRAMAS DE PRODUCCIÓN DE HUEVO EN PONEDORAS LONGEVAS

Guillermo Díaz Arango
Consultor en manejo, nutrición y alimentación de aves. Colombia
gmodiaza@msn.com

Para desarrollar la ponedora moderna, las casas genéticas han orientado su esfuerzo en aumentar su vida útil o longevidad, sin descuidar otros parámetros importantes como son la viabilidad, el número de huevos por ave alojada, la calidad de la cáscara de los huevos producidos en las etapas finales y la calidad interna de dichos huevos. Para lograr los objetivos propuestos por las casas proveedora de genética es importante tener en cuenta algunos factores no negociables para poder qué se estrese todo ese potencial genético desarrollado; en este breve escrito les voy a mencionar algunos factores claves que deben tenerse en cuenta para el logro de los parámetros propuestos.
Dichos factores entre otros son: Realizar una excelente crianza, Alimentar durante toda la vida de las ponedoras con un esquema basado en mantener la salud intestinal, Utilizar un plan de iluminación acorde con los objetivos productivos trazados por la compañía, Cuidar el desarrollo del hueso medular y el mantenimiento del hueso cortical, Diseñar dietas que prioricen la protección del hígado y sus importantes funciones, Mantener estable el peso y la uniformidad durante toda la vida de las ponedoras, y finalmente, Controlar el tamaño del huevo en las etapas finales de producción buscando con esto, mantener lo más alto posible la viabilidad de la parvada.

1. Realizar una excelente crianza:
La nutrición óptima de para llevar a una parvada a las 100 semanas comienza con el nacimiento; y para realizarla, deben tenerse en cuenta el desarrollo intestinal, el desarrollo corporal, el logro de los objetivos de peso durante toda la cría y la recría, el mantenimiento de una alta uniformidad.

Tabla 1.Correlación entre el peso corporal de la pollita y los resultados en postura

Factor	Peso Corporal			Uniformidad a 16 semanas
	5 semanas	10 semanas	16 semanas	
Inicio de producción	+++	+++	++	0
Persistencia	++++	0	0	++
Supervivencia				
a 60 semanas	+++	0	0	++
a 72 semanas	+++	0	0	+++
Producción				
hasta 60 semanas	++++	++	0	+++
De 60 – 72 semanas	++++	0	0	+++
Hasta 72 semanas	++++	0	0	+++

Convenciones

++++ Muy Alta	+++ Alta	++ Alguna	0 Ninguna
Mayor al 0,75	Entre 0,50 – 0,75	Entre 0,25 – 0,50	Igual a 0

Adaptado por G. Diaz de Carrizo y Lozano 2007

Como puede observarse en la Tabla 1., los objetivos a lograr de vital importancia, tenemos el logro de los pesos de las aves a la 5a semana de edad, el cual influye en la mayoría de parámetros productivos de la parvada como son, el inicio y la persistencia de producción, la supervivencia durante las etapas tempranas y tardías y el índice de postura durante toda la vida; después de esta semana los pesos de la semana 10ª y 16ª no influyen de manera significativa sobre estos parámetros mencionados; lo que si influye de manera significativa sobre los mismos parámetros mencionados es la uniformidad de la semana 16ª; en resumen durante la cría y la recría de la parvada de ponedoras modernas, un factor no negociable es el peso de la 5ª semana y la uniformidad a la 16ª semana (Carrizo y Lozano 2007).

2. Alimentar durante toda la vida de las ponedoras con un esquema basado en mantener la salud intestinal: Un programa de alimentación orientado al anteponer la salud intestinal incluye estrategias como el uso de un mínimo de fibra insoluble En las raciones; el uso de la granulometría o tamaño de partícula adecuado a cada una de las etapas de las ponedora, buscando con esto que se desarrolle el tracto gastrointestinal buscando que cada uno de los órganos que interviene en la digestión cumpla con su función, generando con esto una musculatura

desarrollada y fuerte, además de un epitelio intestinal saludable y funcional; esta estrategia podría incluir el uso de algunos aditivos mejoradores de la salud intestinal.
La alimentación enfocada en la salud intestinal en primer lugar favorece la flora benéfica intestinal del tipo lacto acidófilo y bífido bacterium, favorecido por el uso de la fibra, por el uso de la granulometría adecuada para cada etapa, que a su vez genera unas veces con baja humedad y por ende una cama más seca y con menos olores molestos para las aves, además de mejorar la calidad de la cáscara, la respuesta inmune y un bajo uso de fármacos antibióticos y/o aditivos mejoradores para control de problemas intestinales.

La granulometría ideal para lograr los mejores resultados en parvadas longevas y productivas incluye la utilización de un tamaño de partícula acorde con la edad, desarrollo correlacionado con el microclima de alojamiento (temperatura, humedad y gases). Mis recomendaciones son:
Etapa de preiniciación (0-5 semanas): usar micropellet, pellet crombelizado o llamada también migajas finas o si no se dispone de granuladora, se puede usar molienda fina con una media de tamaño de partícula de 800 micrones.
Etapas de iniciación, levante o recría, pre-postura y producción: se debe usar molienda gruesa, con partículas entre 500 y 3200 micrones. Es importante comentar, que en climas cálidos o durante la etapa de pre-postura e inicio de producción, es imperante utilizar alimentos con granulometrías gruesas hasta que las aves regulen su consumo y cuando las parvadas tengan consumos con tendencia a elevarse o se consuman la ración en poco tiempo, es recomendable utilizar granulometrías finas para las aves se tarden mas tiempo en consumir la ración. Al hablar de granulometría, no podemos olvidar la granulometría de las fuentes de calcio suministradas a las ponedoras.

Como fuente de calcio, generalmente se utiliza carbonato de calcio o piedra caliza y/o conchilla o conchuela de ostras.
La granulometría de estas fuentes de calcio debe ser de dos tipos: en primer lugar, como polvo fino con tamaño de partícula entre 0,5 a 1,0 mm de diámetro y en segundo partículas gruesas denominadas piedras o grit con diámetro de partícula entre 3 a 5 mm. Durante las etapas de cría y recría, se debe usar como fuente el polvo y solo en la recría debe adicionarse un pequeño porcentaje de piedras que no debe superar el 20% del carbonato adicionado a la ración, con el fin de que las aves aprendan y se acostumbren a comer dicho ingrediente y durante la etapa de postura debe suministrarse un 70% de calcio grueso y 30% de calcio en polvo y en las etapas tardías esta proporción debe cambiar a 85 grueso 15 fino con el fin de mantener aún en etapas tardías la buena calidad de la cáscara.

AVEM Avieespecialistas de México

El uso de un nivel mínimo (3-5%) de fibra en las raciones de las ponedoras genera varios efectos en pro de los resultados, como son: mejora la calidad de la cama, tranquiliza a las aves, reduce el picaje y la hiperactividad, reduce la pérdida de plumas, mejora la respuesta inmune, mejora la producción de huevos, disminuye la presencia de huevos sucios y además sumado a lo anterior, disminuye la mortalidad.

3. Plan de Iluminación:
Utilizar plan de iluminación en las ponedoras longevas y productivas modernas es absolutamente necesario para lograr todo el potencial genético que ha sido desarrollado en ellas; este consiste en sincronizar el sistema hormonal de las aves buscando obtener de hecho potencial; durante la etapa de cría y recría el plan de iluminación se utiliza como una herramienta para lograr, en primer lugar los pesos corporales y en segundo lugar las uniformidades exigidas para poder lograr los mejores resultados; en la etapa levante el plan de iluminación ayuda a que las aves estén tranquilas y a que su metabolismo esté concentrado en el desarrollo del hueso medular y posteriormente cuando pasamos a las etapas de pre

postura y postura, este plan de iluminación nos ayuda a que la parvada empiece a poner huevos a la edad que nosotros hayamos programado, a lograr el máximo pico de producción y posteriormente a mantener la postura durante muchas semanas, lo que se denomina persistencia de producción.

Un programa de iluminación influye directamente sobre: el control de la madurez sexual, la expresión del potencial genético, la obtención de los objetivos de crecimiento, la obtención de los objetivos de postura en términos de huevos ave alojada, ayuda a incrementar el número de huevos producidos, interviene también en el control del tamaño del huevo y además es una herramienta importantísima en el control de la mortalidad. El éxito de un programa de iluminación depende del espectro o longitud de onda, de la intensidad lumínica o luminancia, del tipo de la fuente de luz, de la uniformidad de la iluminación, y del fotoperiodo o duración del día. Hay algunas consideraciones importantes sobre el plan de iluminación en avicultura como son: las gallinas prefieren la luz a la oscuridad, las altas intensidades lumínicas favorecen el fichaje y la hiperactividad, la luz roja disminuye el fichaje y el canibalismo entre las aves, la luz roja tiene un mejor efecto sobre la producción, las aves jóvenes prefieren la luz verde azul, las gallinas criadas con intensidad lumínica entre 5 y 10 lux, pueden mantener el fisiologismo de la puesta, desde el punto de vista del bienestar animal regulado por la WWF, dependencia de las naciones unidas, se exige que las aves deben recibir por lo menos 8 horas de descanso al día; lo anterior debe tenerse en cuenta cuando se diseña un plan de iluminación para una parvada.
Los planes de iluminación más comunes en la etapa de producción oscilan entre 12 a 16 horas luz.

Las ponedoras comerciales requieren una disminución lenta de las horas luz entre la 0 – 12 semanas, en esta etapa el plan de luz se utiliza para mantener o mejorar el consumo de alimento y con esto optimizar el crecimiento y desarrollo de las aves, además de obtener una buena uniformidad. Durante la etapa de producción el plan de iluminación se utiliza para mantener una buena existencia en la producción de huevos para la producción de huevos más grandes o para prevenir la producción de huevos demasiado temprano. En términos de duración del día lumínico la ponedora moderna necesita al menos 12 horas de luz, las cuales pueden extenderse a un máximo de 16 horas y de acuerdo con intensidad la ponedora en fase de postura necesita al menos 2 veces la intensidad lumínica que fue utilizada durante el levante o recría.

4. Cuidar el desarrollo del hueso medular y el mantenimiento del hueso cortical:
El hueso medular es un sistema óseo secundario característico de las hembras de las aves, aparecen el fémur, las costillas y los huesos de la pelvis conteniendo al menos el 30% de cada uno de ellos; Es el único hueso con actividad metabólica y proporciona calcio para la cáscara del huevo cuando la absorción intestinal es insuficiente y/o durante la noche cuando el tracto digestivo no tiene suficiente calcio absorbible. El cuidado del desarrollo y mantenimiento del hueso cortical es de vital importancia para la vida de las aves y para que alcancen los máximos parámetros productivos, ya que influye directamente sobre la productividad y sobre la estructura de soporte de las ponedora que el esqueleto; si no hay hueso medular desarrollado y en reserva, quiere decir que en las horas oscuras durante las cuales la ponedora fabrica la cáscara del huevo, tendrá que recurrir a la destrucción del hueso cortical o estructural, lo que provoca a futuro la presentación de osteoporosis, fatiga jaula y muerte por deficiencia de calcio.

AVEM Avieespecialistas de México

Para cuidar y mantener el hueso medular, es indispensable manejar muy bien el plan de suplementación de piedras de calcio y cuidar del uso de la granulometría adecuada, además, de saber que el hueso medular se desarrolla de las 14 a las 24 semanas, periodo durante el cual, debemos favorecerlo para que se desarrolle al máximo. Lo anterior puede lograrse con el uso de la granulometría adecuada desde la recría (semana 14) y durante la pre-postura y el inicio de la postura. En caso de querer ayudar a fortalecerlo, en esta etapa (14 – 24 semanas) pueden usarse suplemento mejoradores del metabolismo del calcio como las fuentes de calcio de alto valor biológico como pidolidato, lactato, citrato y gluconato de calcio y además bajando el pH del agua de bebida a niveles del 4,5 – 5,0 durante estas semanas.

Para garantizar las cáscaras de excelente calidad existen 3 etapas críticas durante la vida de la gallina:
la primera es aquella en la que se genera el “desarrollo del hueso cortical”, que va de 0 a 13 semanas, durante esta etapa se forma y desarrolla el hueso cortical o lo que será la estructura de soporte de las aves; la segunda es la llamada “etapa de desarrollo medular”, y es aquella en la que se desarrolla el hueso medular y se construye la reserva de nutrientes

especialmente de calcio para la futura mineralización de la cáscara, esta va desde la semana 14 a las 24, del manejo de esta, depende en gran medida el desempeño de los parámetros productivos durante la vida adulta de la gallina, como son el número de huevos rotos y la mortalidad; y la tercera es la llamada etapa de mantenimiento del hueso cortical; la cual arranca desde las 25 semanas hasta la salida del lote , en que se busca retrasar la aparición de los síntomas de deterioro óseo, la debilidad y rotura de las cáscaras, la presentación de prolapsos, osteoporosis y/o fatiga de jaula.
De acuerdo con lo investigado con el Dr. Whitehead, el hueso de la ponedora comienza a debilitarse a partir de que coloca el huevo número 200, lo que corresponde a una edad aproximada entre las 50 y la 55 semana; por lo que, de no hacer un buen manejo de la primera y segunda etapa, a partir de esta semana se incrementará la mortalidad y la causa será la osteoporosis ocasionada por el deterioro del hueso estructural por un mal manejo el hueso medular.

5. Diseñar dietas que prioricen la protección del hígado y sus importantes funciones:
La gallina ponedora moderna es uno de los animales más eficientes en el manejo y conversión de nutrientes y para el caso del manejo de la energía, no es una excepción; la ponedora tiene que ser muy eficiente diariamente en el manejo nutricional de formación y movilización de grasa; metaboliza, quema y/o almacena grasa todo el tiempo, para poder fabricar yemas, por lo que el hígado, es un órgano fundamental para este objetivo. Diariamente el hígado participa en la movilización y/o almacenamiento de la grasa y tiene que realizar un trabajo metabólico que incluye funciones como: la digestión de las grasas, deposición de grasa en yema, contribuir a la eritropoyesis, perfilar el contenido de ácidos grasos en la yema, participa en la absorción, metabolismo y almacenamiento de las vitaminas liposolubles, ayuda a formar los pigmentos del cascarón, fabrica la matriz proteica de la cáscara, y a la final termina mejorando la productividad y el tamaño del huevo. El hígado es un órgano tan importante para las ponedoras modernas que se ha acuñado una frase que dice todo de su función "Hígado saludable…Aves saludables y productivas"

El hígado proporciona la proteína de la cáscara del huevo que responsable de la elasticidad y en donde se empieza a fabricar la empalizada de cristales de carbonato de calcio que conforman la cáscara, el hígado proporciona también los nutrientes básicos para el desarrollo de la yema y la albúmina, cómo el hígado es fundamental en el metabolismo de la energía y es muy sensible a las grasas peroxidadas, a las micotoxinas y otros tóxicos en general.

Cómo se protege el hígado: se debe formular para la protección hepática, esto incluye la adición de un nivel determinado de grasa vegetal a la dieta; niveles que oscilan entre el 3.5% en las dietas iniciales de producción y terminando con el 1.5% en las dietas finales, explicado esto último por querer lograr un menor tamaño del huevo al final de la postura; pueden también incluirse en las dietas aditivos como los antimicotoxinas o AMT, betaina, colina, y en general protectores hepáticos que pueden ser de origen herbal o químico, pueden incrementarse también las vitaminas del complejo B como la tiamina, cianocobalamina, piridoxina y del complejo liposoluble la vitamina E que es el antioxidante universal.

La gallina es un ave que, por el rango de acumulación, movilización y deposición de grasa en el huevo presenta generalmente un hígado hipertrofiado y con una alta probabilidad de que sea esteatosico, friable o con parénquima débil; esta situación la puede estar generando el tradicional diseño de las dietas que se usan en su alimentación, pues en su gran mayoría son deficitarias en grasa añadida, por lo que el hígado de la gallina tendría que fabricarlo a partir de carbohidratos con un costo metabólico muy alto y a expensas de un exagerado trabajo hepático, situación por la cual en mi opinión, es normal en una gallina adulta encontrar estos hígados hipertrofiados. Para ayudar a corregir este frecuente problema, sería conveniente usar grasa vegetal añadida a niveles cercanos al 3% para que sea más fácil para la ponedora depositar en el huevo la grasa necesaria diariamente y al disminuir este trabajo hepático mejoraría no solo la salud del hígado, sino también la salud general del ave y de la parvada.

6. Mantener estable el peso y la uniformidad durante toda la vida de las ponedoras, y finalmente
Este es uno de los parámetros que mas influye en los resultados productivos de las aves longevas, pues el día a día de las aves es la continua lucha por beber y comer, en donde la medición semanal del peso de las aves se convierte en el fiel de la balanza del comportamiento zootécnico; con el registro de peso se toman decisiones tan importantes como la programación del suministro de alimento, hacer control de peso para evitar engrasamientos, controlar el tamaño del

huevo y mantener la uniformidad. Debemos preocuparnos por la ingesta diaria de alimentos y nutrientes. Los objetivos de peso no deben alcanzarse con concentración de nutrientes, éstos deben lograrse con ingesta de alimento y variación de la granulometría. Al mantener estable el peso de las aves durante toda la vida de la gallina y con una uniformidad alta, estaremos proporcionando igualdad de condiciones de lucha a cada individuo en la guerra por el agua y el alimento, además el peso del huevo será más homogéneo y lo más importante es que todo lo anterior se convierte en una mayor cantidad de aves con postura activa o sea en una menor mortalidad. Peso y uniformidad estables durante toda la vida de la gallina, generan los mejores resultados técnicos y económicos

7. Controlar el tamaño del huevo en las etapas finales de producción

El control del peso o del tamaño del huevo en las ponedoras comerciales modernas y longevas, se ha convertido en una medida indispensable para alargar su periodo de vida útil y productiva; es una medida de control sanitario y económico, porque, al controlar el tamaño del huevo se disminuye la probabilidad de muerte por prolapso, además de mejorar la calidad interna y externa del huevo provocando con esto una mayor rentabilidad.

AVEM
Aviespecialistas de México

MODELAJE COMO HERRAMIENTA PARA ÓPTIMA PRODUCCIÓN DE CARNE DE POLLO

Nilva Sakomura y Rony Riveros Lizana
Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"
Campus Jaboticabal

Introducción

Varios estudios fueron realizados en el Laboratorio de Ciencias Avícola de la Universidad Estatal de Sao Paulo (LAVINESP), con el objetivo desarrollar modelos de predicción del crecimiento y la respuesta. Para ello fueron realizados estudios para evaluar la respuesta de las aves a la ingestión de diferentes niveles de un determinado nutriente, así como en diferentes condiciones de producción. Para ello, fueron conducidos ensayos sobre abordaje de dosis-respuesta (diferentes nutrientes), medición y seguimiento del crecimiento del ave (curvas de crecimiento), así como las variaciones en su composición corporal a lo largo del tiempo. Además, fueron evaluados el efecto de condiciones de desafío sobre el crecimiento del ave. A partir de esta información generada, fueron evaluadas teorías relativas al crecimiento del ave, viabilizando así el desenvolvimiento de modelos de predicción del crecimiento BGM. El principio utilizado para la construcción de BGM fue la predicción del consumo de alimento deseado, donde se hipotetiza que "*las aves consumen para atender su potencial de crecimiento*", pero ciertos factores restringen la ingesta de nutrientes suficientes para alcanzar este potencial, como por ejemplo la capacidad del tracto digestivo, el ambiente, entre otros" (Emmans, 1981). El establecimiento de los requerimientos del ave sobre estas condiciones ideales se define principalmente para energía y aminoácidos, siendo estos los principales factores limitantes en la dieta.

Descripción del BGM

El modelo BGM tiene como base fundamental la teoría de crecimiento propuesta por Emmans (1981), donde las aves buscan atender sus exigencias nutricionales para mantenimiento y crecimiento, denominado como requerimiento. El consumo deseado es estimado basado en la exigencia del ave y la composición nutricional de la dieta, y se refiere a la cantidad de nutrientes necesarios para alcanzar su potencial de crecimiento. Además, el modelo lleva en consideración que el consumo puede ser limitado por varios factores denominados de destructores ("*constrainers*"), siendo estos: (1) la capacidad física del tracto digestivo, (2) el ambiente físico-social, (3) y condiciones de desafío sanitario. De esa manera, siendo establecido el consumo deseado y los factores que restringen este consumo, puede ser estimado el consumo voluntario actual, peso vivo y composición corporal. Además, podrá ser establecidos las exigencias nutricionales para pollos de carne.

Determinación del potencial de crecimiento

La descripción del potencial de crecimiento proteico del ave es descrita por la función de Gompertz:

$$Pt = Pm * e^{-e(-b*(t-t*))} \qquad \text{Eq. 1}$$

Donde, Pt: peso proteico, Pm: peso proteico a la madurez, b: tasa de crecimiento y t*: edad en la cual se observa la máxima tasa de crecimiento, son los parámetros estimados por la función.

La primera derivada de la Eq. 1 describe la deposición de proteína diaria en el cuerpo y las plumas, mismas que son utilizadas para describir la deposición potencial de proteína diaria de las aves.

$$\frac{dP}{dt} = pDP = b * Pt * \ln\left(\frac{Pm}{Pt}\right) \qquad \text{Eq. 2}$$

$$pPD_{plumas} = b_p * Pt_p * \ln\left(\frac{Pm_p}{Pt_p}\right) \qquad \text{Eq. 3}$$

Em estas ecuaciones, los parámetros estimados tienen la característica de presentar una interpretación biológica, siendo estos relativo a cada línea genética y sexo del ave. Siendo que el modelo considera la proteína actual y no la edad, esto permite que el modelo opere sobre condiciones de ganancia compensatoria.

Por otro lado, la composición de lípidos en el cuerpo son descritos a partir de su relación entre la proteína a la madurez (L:P o LPm), así como la relación alometrica para describir la deposición de lípidos potencial:

$$L{:}\,P_{madurez} = dL = LPm * Pm * (\frac{Pt}{Pm})^{b1} \qquad \text{Eq. 3}$$

$$dLD = DP * LPm * b1 * (\frac{Pt}{Pm})^{b1-1} \qquad \text{Eq. 4}$$

Finalmente, a deposición lipídica será establecido como:

$$LD = dLD + (dL - lipideos) \qquad \text{Eq. 5}$$

Por otro lado, la deposición de los otros componentes del cuerpo como agua y minerales son calculados a partir de una relación alometrica con la proteína.

$$\ln(Y) = a + b * \ln(Pt) \qquad \text{Eq. 6}$$

Donde, Y: es el contenido de agua o minerales, *a* es una constante e *b* es un el coeficiente alometrico.

Para la construcción del modelo de crecimiento y la determinación de los parámetros, varios estudios fueron conducido en el Laboratorio de Ciencias Avicolas (LAVINESP), para describir el potencial de crecimiento de los componentes del cuerpo, y las plumas para cada línea genética y sexo (Tabla 1). Este estudio fue realizado utilizando un método de densitometría de absorbancia de rayos X (DXA), permitiendo determinar la composición de la misma ave a lo largo del tiempo (Gonçalves, 2017).

Tabla 1. Parámetros de la descripción del crecimiento de los componentes corporales de pollos de engorde implementados en el BGM.

Parámetros	Cobb		Ross	
	Macho	Hembra	Macho	Hembra
b	0,047	0,050	0,037	0,044
Pm	1042	666	1309	866
L:Pm	0,80	1,17	1,00	1,00
b_{plumas}	0,040	0,042	0,035	0,036
Pm_{plumas}	303	233	483	395
a (agua/proteína)	1,74	1,74	1,74	1,74
b (agua/proteína)	0,92	0,92	0,92	0,92

Fuente: Gonçalves (tesis doctoral UNESP, 2017).

Otra actualización importante fue introducido en el BGM con el objetivo de describir el peso de los componentes (o cortes de carcasa). Para ello, ecuaciones alometricas fueron establecidas para predecir el peso de cada componente en función de la proteína del cuerpo. Esta metodología fue descrito a detalle por Reis et al., (2020).

Exigencias de energía

Siendo "construido" el ave a partir de sus componentes, el siguiente punto fue establecer las exigencias nutricionales. Siguiendo la teoría de Emmans (1981, 1994), donde el ave requerirá de energía y aminoácidos para atender su potencial de crecimiento. Por ello, en el BGM es determinado la exigencia de energía efectiva:

$$EE\ (\frac{kJ}{d}) = 1{,}63 * Pt * Pm^{-0.27} + 50 * Pd + 56 * DL \qquad \text{Eq.7}$$

En este abordaje, la exigencia de mantenimiento lleva en consideración la deposición de proteína y lípidos, y es calculado considerando la masa proteica a la madurez.

Exigencias de aminoácidos

Por otro lado, las exigencias de aminoácidos son descritas de forma separada para el cuerpo y las plumas, a través del modelo factorial conforme fue descrito por Reis et al., (2018):

$$Exig.AA_{cuerpo} = AA_{mant} + (DP * \frac{AA_{cuerpo}}{Ef}) \qquad \text{Eq. 8}$$

$$Exig.AA_{plumas} = AA_{mant-plumas} + (DP_{plumas} * \frac{AA_{plumas}}{Ef}) \qquad \text{Eq. 9}$$

Donde, *ef* representa la eficiencia para cada aminoácido tanto para formación de plumas como del cuerpo. Finalmente, la exigencia total de los aminoácidos será determinado como la sumatoria de ambos componentes.

Determinación del consumo deseado

El consumo deseado es determinado a partir de las exigencias de energía y aminoácidos, previamente descritos, y la concentración en la dieta. Así, será definido el consumo deseado como el menor consumo estimado para energía o los aminoácidos, representados por el balance.

Capacidad máxima del TGI

Como fue mencionado anteriormente, uno de los factores que restringe el consumo deseado es la capacidad del tracto digestivo. Es ampliamente sabido que cuando la densidad nutricional de la dieta disminuye, el ave intentara incrementar su consumo de alimento para atender las exigencias de su potencial de crecimiento. Entretanto, este aumento tiene un límite físico el cual es establecido por la capacidad del TGI. Con el objetivo de predecir el máximo consumo del ave, Nacimento (2018) conducir un experimento para evaluar las características físico-químicas de la dieta, que reflejan esta característica volumétrica del alimento. Para ello, fue establecido una relación entre la capacidad de retención de agua de la dieta, y el consumo de alimento (en escala de peso metabólico). A partir de esta relación fue desarrollada una ecuación para predecir el consumo de alimento:

$$Consumo_{max} = a - b * CapRetAgua + c * CapRetAgua^2 \qquad \text{Eq. 10}$$

Determinación del consumo actual

Finamente, la determinación del consumo actual será establecido a través de una relación condicional del menor valor entre el consumo deseado y la capacidad del TGI.

Otras actualizaciones

El modelo BGM contempla modelos para la predicción de la deposición y determinación de las exigencias de calcio y fosforo (huesos y tejido blando) (Reis et al., en publicación), efecto de la temperatura, y efecto de las condiciones de desafío sanitario (Remus et al., 2014 y Oliveira et al., 2019); sobre la predicción del crecimiento.

Optimización

Una de las herramientas con las que cuenta el modelo BGM es el de optimización, el cual tiene como objetivo auxiliar al usuario en la tomada de decisiones de forma automatizada y práctica. Esta herramienta está basado en algoritmos que simula de forma automatizada diferentes programas nutricionales para encontrar una solución económicamente viable. Dentro de los criterios de optimización, estos pueden ser basado en el nivel de energía, proteína balanceada o nivel de lisina en la dieta.

Consideraciones finales

El programa BGM fue desenvuelto para, a partir de un conjunto de teorías que llevan en consideración de forma detallada los aspectos nutricionales, poder predecir el crecimiento del ave de forma precisa, viabilizando así determinar las exigencias nutricionales y de energía, llevando en consideración los principales factores que influyen con el desarrollo de las aves de diferentes genéticas y sexo. Adicionalmente, BGM incluye herramientas para llevar en consideración los escenarios económicos, siendo una herramienta necesaria para la tomada de decisiones y análisis de oportunidades.

BGM es una herramienta disponible mediante solicitación en el siguiente enlace: poultry model.com

Referencias

- de Oliveira M.J.K., Sakomura N.K., de Paula Dorigam J.C., Doranalli K., Soares L., Viana G.S. (2019) Bacillus amyloliquefaciens CECT 5940 alone or in combination with antibiotic growth promoters improves performance in broilers under enteric pathogen challenge. 98(10):4391-4400.
- Emmans G. (1981). A model of the Growth and Feed Intake of Ad Libitum Fed Animals, Particularly Poultry. BSAP Occasional Publication, 5, 103-110.
- Emmans G.C. (1994) Effective energy: a concept of energy utilization applied across species. British Journal of Nutrition 71:801-821.
- Nascimento M.Q.D, Gous R.M., Reis M.P., Fernandes J.B.K., Sakomura N. (2020) Prediction of maximum scaled feed intake in broiler chickens based on physical properties of bulky feeds. British Poultry Science. 61(6):676-683.
- Gonçalves C. (2017) Modelagem do crescimento, composição do corpo e das penas em frangos de corte. Tesis doctoral. Zootecnia-FCAV, Unesp.
- Reis M.P., Sakomura N.K., Azevedo J.M., Viana G.S., Dorigam J.P., Fernandes J.B.K., Gous R.M. (2023) Predicting the extent to which excess lipid is deposited in the physical components of a broiler when dietary protein content is reduced. Animal Production Science 63, 249-255.
- Reis M.P., Sakomura N.K., Teixeira I.A, da Silva E.P., Kebreab E. (2018) Partitioning the efficiency of utilization of amino acids in growing broilers: Multiple linear regression and multivariate approaches. PLoS ONE 13(12): e0208488.
- Remus A., Hauschild L., Andretta I., Kipper M., Lehnen C.R., Sakomura N.K. (2014) A meta-analysis of the feed intake and growth performance of broiler chickens challenged by bacteria. Poultry Science, 93(5): 1149-58.

MODELOS PARA ESTIMAR LOS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE POLLONAS Y PONEDORAS: IMPLICACIONES PRÁCTICAS EN LA PRODUCCIÓN AVÍCOLA COMERCIAL

Nilva Sakomura y Rony Riveros Lizana
Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"
Campus Jaboticabal

Introducción

La productividad de las ponedoras aumento sustancialmente con relación a décadas pasadas, e inevitablemente resulto en modificaciones en la nutrición de las genéticas actuales. Ello significa que el aumento en la producción y la masa de huevo también resulto en un aumento en las exigencias de aminoácidos y proteínas en el cuerpo y huevo. A medida que las características productivas fueron mejorando, el peso corporal de las aves también fue reducido, resultando así en una alteración de la demanda de aminoácidos para mantenimiento del cuerpo. Estas alteraciones pueden ser evaluadas en modelos para readecuar las exigencias de aminoacidos y de energía. En ese sentido, deben ser considerados algunos puntos para establecer una nutrición aminoacídica adecuada: (1) las implicaciones económicas de la proteína y los aminoácidos, (2) el impacto social-ambientales de la excreción de nitrógeno y (3) las condiciones de estrés por calor y su relación con el incremento calórico de la proteína. En ese sentido, varios estudios fueron realizados en el Laboratorio de Ciencias Avicolas de la FCAV-UNESP/Jaboticabal, con el objetivo de evaluar las exigencias nutricionales de proteína y energía, para desarrollar herramientas para facilitar la elaboración de programas nutricionales de aves de reemplazo y gallinas de postura.

Descripción del crecimiento

La descripción del crecimiento de las genéticas de aves son un punto clave, previo a la descripción de modelos de exigencias nutricionales, ya que, a partir del entendimiento de la demanda de nutrientes, deberán ser descritos el potencial de crecimiento de las líneas genéticas. El crecimiento deberá ser descrito en términos de deposición proteica, para determinar las exigencias de aminoácidos en función de este componente del cuerpo. Para ello, varios estudios fueron conducidos para describir el crecimiento de las principales genéticas Dekalb y Lohmann (blanca y marrón). Para ello, fueron realizadas la determinación de la composición corporal a lo largo del tiempo, utilizando un método no invasivo de densitometría de absorbancia de rayos X (DXA). Por medio de este metido fueron obtenidos los componentes de tejido magro, graso y contenido mineral. La descripción del crecimiento de los componentes del cuerpo fue realizada utilizando la función de Gompertz, cuyos parámetros tienen una interpretación biológica (Tabla 1).

Tabla 1. parámetros del crecimiento proteico de las líneas genéticas de pollonas en fase de crecimiento.

Parámetros de crecimiento proteico				
Parámetros	**Dekalb Marón**	**Lohmann Marón**	**Dekalb Blanca**	**Lohmann Blanca**
Peso al nascimiento, g	4,75	4,84	5,52	5,34
Peso a la madurez, g	303,00	325,00	258,30	230,00
Tasa de crec., dia^{-1}	0,027	0,026	0,025	0,026
Edad a la máxima tasa de crec., día	52,32	55,37	54,28	52,84

Fuente: Tesis de maestría FCAV-Unesp/Jaboticabal, Warley Junior Alves.

AVEM Avispecialistas de México

Adicionalmente, para ilustrar la diferencia de crecimiento proteico entre las genéticas, fue descrito la deposición proteica en función del grado de madurez (*u*), evidenciando estándares de crecimiento diferentes de las líneas genéticas de aves de reposición (Figura 1), y consecuentemente diferencias en las exigencias de aminoácidos.

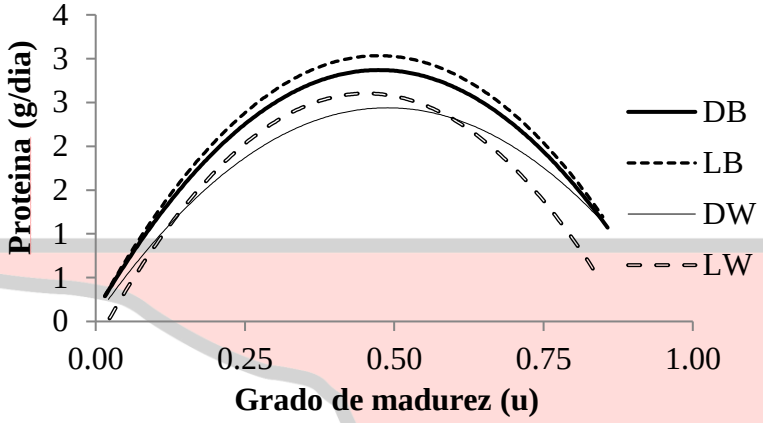


Figura 1. descripción del crecimiento proteico de las líneas genéticas de aves de reposición para postura Dekalb (DW y DB) y Lohmann (LW y LB).

Determinación de las exigencias de energía para la fase de crecimiento y postura

Para la determinación de las exigencias de energía fueron conducidos varios ensayos biológicos, y fueron descritos a través de modelos factoriales para establecer las exigencias nutricionales llevan en consideración el efecto de la temperatura ambiental y el grado de emplume sobre las exigencias de energía para mantenimiento (*EMm*).

$$EMm = B + d * (L - T), para\ T < L$$

$$EMm = B + s * (T - L), para\ T \geq L$$

$$L = Lo - L1 * E$$

L: Temperatura crítica inferior, *T*: Temperatura ambiental y *E*: grado de emplume (0 a 1).

Para determinar las exigencias de energía para crecimiento (*EMg*), este fue determinado a partir de la energía retenida (como proteína y grasa) y la eficiencia de retención como grasa (*kf*) y proteína (*kp*). Finalmente, fueron elaborados modelos para predecir las exigencias de *EM* para pollonas de reemplazo:

$$MEi = MEm * (T) + \left(\frac{1}{kf}\right) * ERf + \left(\frac{1}{kp}\right) * ERp$$

AVEM
Aviespecialistas de México

Para gallinas en producción, el modelo estima las exigencias de EM en función del peso vivo (PV) y temperatura (T), así como ganancia de peso (GP) y masa de huevo (MH).

$$MEi = a * PV^b * (T) + c * GP + d * MH$$

Determinación de las exigencias de aminoácidos para aves de crecimiento y postura

Los niveles de aminoácidos durante la fase de crecimiento deben permitir un desarrollo adecuado hasta la madurez sexual, durante el cual sucede el desarrollo de los órganos gonadales, folículos y oviducto. Por ello, durante esta fase, el ave requeriré de una mayor demanda de aminoácidos, además, el desarrollo de estos órganos sucede en un periodo de aproximadamente una semana (para lotes uniformes), siendo que durante la fase de prepostura, el crecimiento de estos órganos debe ser considerado para la determinación de las exigencias nutricionales del ave.

Para estimar las exigencias de aminoácidos para aves en crecimiento, fueron desarrollados modelos considerando: (1) la deposición de proteína en el cuerpo y las plumas, (2) reposición de proteína perdida por el reemplazo de las plumas y (3) desarrollo de los órganos reproductivos:

$$AA = ((AA_m c * Ptm^{0.73} * u) + (Pl * Pt_{pl} * AA_{pl}) + (\frac{AA_c * dPt_c}{k} + \frac{AA_{pl} * dPt_{pl}}{k} + \frac{AA_c * dPt_{ov}}{k} + \frac{AA_p * dPt_{ovi}}{k}$$

Donde, *AAm, AAc,* y *AApl* representan el contenido de aminoácidos para mantenimiento, cuerpo y plumas, respectivamente. *Ptm*: proteína a la madurez, *Ptpl*: proteína en las plumas. *Pl*: peso de las plumas; y *dPtc, dPtpl, dPtov* y *dPtovi,* son la deposición de proteína en el cuerpo, plumas, ovario y oviducto, respectivamente.

Este modelo fue utilizado para estimar las exigencias para los aminoácidos para aves en fase de crecimiento y prepostura. Por otro lado, durante la fase de producción, el modelo de Reading fue utilizado para determinar las exigencias de los aminoácidos lisina, metionina+cistina, treonina, valina, isoleucina y triptófano. El modelo de Reading tiene como fundamento principal la predicción de las exigencias de aminoácidos en función del peso corporal y la producción de huevos, asumiendo que cada ave individualmente tiene un nivel máximo de producción (en masa de huevo) denominado *Emax*. Por ello, la respuesta de una población de aves es descrita a partir de la respuesta individual de cada ave, llevando en consideración la desviación estándar del peso vivo (*PV*) y la *Emax* (Figura 2).

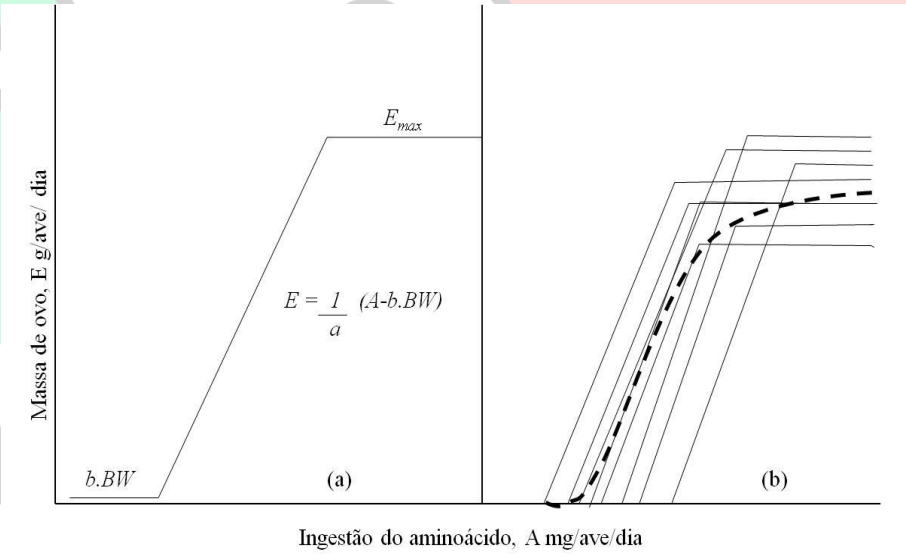


Figura 2. Modelo de Reading describiendo la respuesta a los niveles del aminoácido de un individuo (a) y de una población (b).

Aviespecialistas de México

De esa manera, la exigencia de aminoácido no solo contempla la respuesta individual a los niveles de ingesta de los aminoácidos, sino también a la población, y determina la exigencia optima del aminoácido considerando el óptimo económico del costo marginal del aminoácido.

$$AAopt = a * Emax + b * PV + z.y$$

$$y = \sqrt{a^2 * \sigma^2 * Emax + b^2 * \sigma^2 * PV}$$

$$z = a * k; k = \frac{Costo\ marginal\ del\ aminoacido}{valor\ de\ g\ de\ huevo}$$

Donde, *k* es la relación costo-beneficio del aminoácido, *z.y* representan la cantidad de aminoácido adicionado económicamente viable.

Aplicación de los modelos

A partir de los modelos evaluados, y el conjunto de resultados obtenidos en estudios realizados en el Laboratorio de Ciencias Avícolas (LAVINESP), fueron desarrollados las herramientas practicas para la elaboración de programas nutricionales. Esta herramienta tiene como objetivo elaborar programas nutricionales de forma práctica para auxiliar en la tomada de decisiones de productores y nutricionistas. El Portal de herramientas, **poultrymodel.com** cuenta con una base de datos que incluyen los modelos antes descritos para las principales líneas genéticas de pollonas de reemplazo y postura comercial, así como presenta una propuesta flexible que puede ser aplicado en diferentes condiciones de temperatura y condiciones de producción.

El portal puede accederse a través del enlace *poultrymodel.com* con solicitación previa.

AVEM
Aviespecialistas de México

VARIABILIDAD Y ADAPTABILIDAD DEL VIRUS DE INFLUENZA AVIAR EN MÉXICO

Inkar Castellanos-Huerta[1], Victor Manuel Petrone-García[2], Guillermo Tellez-Isaias[1], Billy Hargis[1]
[1]Universidad de Arkansas. [2]FESC-UNAM
castellanos.inkar@gmail.com

Resumen
En la actualidad, el estudio del virus de influenza aviar, en particular los tipos H5 y H7, han generado información que permite el entender y detectar el rápido cambio en las estructuras proteicas presentes en estas partículas virales; su compresión biológica, incluso a un grado tan detallado como lo es en su genoma viral y su replicación, demuestran cambios de manera rápida con impacto directo al comportamiento replicativo en los organismos, en particular en aves de producción, por lo que el presente trabajo describe brevemente estos factores y su impacto de estos cambios en animales de producción.
Palabras Clave: Influenza Aviar, Adaptabilidad, Variabilidad, Mexico

Abstract
At present, the study of the avian influenza virus, particularly the H5 and H7 types, has generated information that allows understanding and detection of the rapid change in the protein structures present in these viral particles; its biological knowledge, even to a degree as detailed as viral genome and its replication, demonstrate rapid changes with a direct impact on replicative behavior in organisms, particularly in production birds, for which the present work describes these factors and their impact of these changes in production animals briefly.
Key Words: Avian Influenza, Adaptability, Variability, Mexico

Los virus de influenza aviar, en particular los virus H5 y H7 han demostrado una capacidad de adaptabilidad que les permiten prevalecer de manera constante en diversas poblaciones tanto en la vida silvestre como en la industria avícola [1,2]. Las características intrínsecas del genoma, así como su proceso de replicación [3] permite conjuntar características únicas que favorecen una fácil adaptación y generación de nuevos viriones con diversas características variantes rápidamente [4]; su capacidad de adaptabilidad asociada a procesos asociados a mutaciones puntuales [5] así como al intercambio de segmentos de su genoma compatibles [3] permite que estos virus en particular, los que se encuentran en poblaciones en condiciones de alta densidad, como es el caso de las unidades de producción avícola industriales [6] sean constantemente cambiantes. Otros factores asociados como la flexibilidad y adaptabilidad de las proteínas virales, en particular de la hemaglutinina [7], así como factores asociados a proteínas internas como el complejo responsable de la replicación viral (ribonucleoproteína) y sus componentes, [5] hacen de este virus un maquinaria perfecta y cambiante en términos de tiempo relativamente reducidos. Por lo que el presente la presentación en el congreso del trabajo, describe brevemente estas características, relacionando estas con el rápido cambio y en las estructuras proteicas virales responsables de la antigenicidad y su virulencia observada en brotes en México. [8]

Referencias

1. Shi, J.; Zeng, X.; Cui, P.; Yan, C.; Chen, H. Alarming Situation of Emerging H5 and H7 Avian Influenza and Effective Control Strategies. *Emerg. Microbes Infect.* 2023, *12*, 2155072.
2. Cui, P.; Shi, J.; Wang, C.; Zhang, Y.; Xing, X.; Kong, H.; Yan, C.; Zeng, X.; Liu, L.; Tian, G.; et al. Global Dissemination of H5N1 Influenza Viruses Bearing the Clade 2.3. 4.4 b HA Gene and Biologic Analysis of the Ones Detected in China. *Emerg. Microbes Infect.* 2022, *11*, 1693–1704.
3. Webster, R.; Hulse, D. Microbial Adaptation and Change: Avian Influenza. *Rev. Sci. Tech.-Off. Int. Epizoot.* 2004, *23*, 453–466.
4. Suarez, D.L. Evolution of Avian Influenza Viruses. *Vet. Microbiol.* 2000, *74*, 15–27.
5. Li, J.; Ishaq, M.; Prudence, M.; Xi, X.; Hu, T.; Liu, Q.; Guo, D. Single Mutation at the Amino Acid Position 627 of PB2 That Leads to Increased Virulence of an H5N1 Avian Influenza Virus during Adaptation in Mice Can Be Compensated by Multiple Mutations at Other Sites of PB2. *Virus Res.* 2009, *144*, 123–129.
6. Yupiana, Y.; de Vlas, S.J.; Adnan, N.M.; Richardus, J.H. Risk Factors of Poultry Outbreaks and Human Cases of H5N1 Avian Influenza Virus Infection in West Java Province, Indonesia. *Int. J. Infect. Dis.* 2010, *14*, e800–e805.
7. Suttie, A.; Deng, Y.-M.; Greenhill, A.R.; Dussart, P.; Horwood, P.F.; Karlsson, E.A. Inventory of Molecular Markers Affecting Biological Characteristics of Avian Influenza A Viruses. *Virus Genes* 2019, *55*, 739–768.
8. Horimoto, T.; Rivera, E.; Pearson, J.; Senne, D.; Krauss, S.; Kawaoka, Y.; Webster, R. Origin and Molecular Changes Associated with Emergence of a Highly Pathogenic H5N2 Influenza Virus in Mexico. *Virology* 1995, *213*, 223–230.