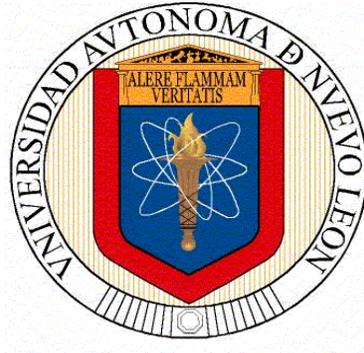


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**EVALUACIÓN DEL ACEITE DE ORÉGANO (*Lippia berlandieri*
Schauer) SOBRE EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE
POLLOS DE ENGORDA (ROSS 308)**

**Por
ANA CECILIA HERNÁNDEZ CORONADO**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIA ANIMAL**

AGOSTO 2020

EVALUACIÓN DEL ACEITE DE ORÉGANO (*Lippia berlandieri* Schauer) SOBRE
EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE POLLOS DE ENGORDA (ROSS 308)

Comité de Tesis



D.Ph. Gerardo Méndez Zamora

Presidente



Ph.D. Luis Edgar Rodríguez Tovar

Secretario



Dr.C. Adolfo Soto Domínguez

Vocal



Dra. Alicia M. Nevárez Garza

Vocal



M.C. Carlos Alberto Hernández Martínez

Vocal

EVALUACIÓN DEL ACEITE DE ORÉGANO (*Lippia berlandieri* Schauer) SOBRE
EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE POLLOS DE ENGORDA (ROSS 308)

Dirección de Tesis



D.Ph. Gerardo Méndez Zamora

Director



Ph.D. Luis Edgar Rodríguez Tovar

Co-Director



Dr.C. Adolfo Soto Domínguez

Co-Director



Dra. Alicia M. Nevárez Garza

Co-Director



M.C. Carlos Alberto Hernández Martínez

Co-Director

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para lograr este grado académico.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, por permitirme realizar mis estudios de maestría y por el Programa de Apoyo a la investigación Científica y Tecnológica (PAICYT-2019; CT710-19) que apoya investigaciones de docentes y estudiantes de esta institución

Al D.Ph. Gerardo Méndez Zamora, quien con su buen asesoramiento, enseñanzas, exigencias académicas, orientación y motivación, me proporciono esta formación desde licenciatura en esta rama de investigación, con la cual ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación como investigadora, además de acompañarme en todo este proceso, compartir de su tiempo y siempre brindarme su apoyo en todo momento.

Al Ph.D. Luis Edgar Rodríguez y Dra. Alicia Nevárez, por siempre orientarme, disposición en compartir sus conocimientos y, agradezco también por sus siempre atentas respuestas a las diferentes inquietudes surgidas durante el desarrollo de esta investigación, lo cual se refleja en los buenos resultados obtenidos. Para los dos, mis más sinceros agradecimientos.

Al MC. Carlos Hernández, por su gran apoyo, tiempo y consejos, además compartir de su experiencia profesional y personal que fueron de gran valor en la fase experimental, así convirtiéndolo todo más ameno, pero aún más por siempre guiarme, alentarme a continuar formándome académicamente y transmitir la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales.

Al Dr. Adolfo Soto, por sus valiosos consejos, disponibilidad, todo el apoyo, paciencia y las facilidades que fueron otorgadas para poder trabajar la parte de histología e inmunohistoquímica en la Facultad de Medicina, y así brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente.

A mis grandes amigos: Lupita Quiñones y Luis Davalos, quienes me apoyaron en una de las partes más pesadas de esta investigación, quienes sin conocerlos, siempre estuvieron ahí trabajando a la par, apoyándome en todo momento y proporcionándome su sincera amistad.

A Iván Aristeo, Miriam Morales y MC. Cesar Dávila, por ayudarme en la parte técnica de histología, quienes con sus consejos y apoyo pude aprender de la mejor manera al brindarme su valiosa amistad, convirtiendo los días de trabajo de laboratorio y comidas demasiado agradables e inolvidables.

A Christian Gómez y Alan Méndez, por apoyarme en una parte de esta investigación completamente nueva para mí, con mucha paciencia y siempre teniendo una amplia disponibilidad, creando un ambiente de trabajo muy agradable y ameno con conversaciones interminables.

A mis jefes de las diferentes corporaciones policiales: Jorge Bejarano y Miguel Ángel Mazariegos, quienes pude me permitieron dar mis primeros pasos profesionales que a la vez se convirtieron en una base sólida de buenos hábitos de trabajo con disciplina, los cuales afrontar el futuro, así como, me han brindado su apreciada amistad y apoyo.

Al posgrado en Conjunto Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia- Facultad de Agronomía por brindarme el espacio en sus áreas y laboratorios, así como al personal que labora en ellos y así poder concluir satisfactoriamente esta investigación.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, con salud y con su bendición de guiar mi caminar, cuidándome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.

A mi padre Rogelio Hernández, quien además de darme su infinito amor, siempre me ha apoyado en cada decisión que tomada, creyendo en mí y además, me alienta a ir por más en la vida, a su vez, a mi madre Rosa Coronado por su ejemplo de trabajo constante y superación.

A mis tías: Estela y Gloria Coronado quienes son mis segundas madres, por todos sus consejos, cariño y por su apoyo al no dejarme sola en ningún momento de mi vida.

A mi prima Maricela Rodríguez, por siempre estar conmigo e incluso en los momentos de necesidad, escuchándome, por tener la palabra precisa en el momento indicado y cuidándome como ha sido desde que era pequeña.

A mis primos Fernando y Francisco Coronado, sin importar del tiempo y la distancia, me han brindado de su apoyo con buenos momentos que hemos compartido, además de enseñarme que la unión y el amor de la familia constituyen la base de la felicidad.

A mis amigas de vida: Sofia Aguilar y Gisela Rodríguez, siempre están para mí, a través de sus consejos, me han prestado un gran apoyo moral y humano, han sabido impulsarme para que seguir adelante, y buscar el sendero del camino deseado.

A Kassadra Gaytán, a quien estimo tanto y a quien le debo su apoyo incondicional, por siempre comprenderme, a su vez, convirtiendo esta etapa de maestría en una de las mejores, al poder compartir tiempo y experiencias inolvidables.

A mi buen amigo: Osmar Briones quien sin importar el tiempo, siempre es tan ameno al día en nuestra amistad, alentándome a seguir con mis planes y sueños, además de darme los ánimos para continuar estudiando lo que más me apasiona.

A Carlos Estrada, quien siempre está para mí, sin importar las circunstancias escuchándome en los momentos complicados, por ayudarme a no dejarme rendir en el camino y poder aprender más de la vida a su lado.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT.....	XIII
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES.....	3
Producción mundial de carne de pollo.....	3
Producción nacional.....	4
Aditivos en la producción de pollos de engorda.....	6
Hormonas de crecimiento.....	7
Antibióticos.....	8
Alternativas naturales.....	8
Orégano.....	10
Aceite esencial de orégano Mexicano.....	11
AEO en engorda de pollos.....	11
Parámetros productivos.....	11
Morfología intestinal de las aves	12
Histología del intestino delgado.....	13
Respuesta Inmune	15
Perfil sanguíneo	18
Calidad de la carne.....	20
Aceites esenciales sobre la calidad de la carne.....	21
Tipos de suplementación de aceites esenciales en pollos de engorda.....	21
Aplicación de aceites esenciales en dietas y agua de bebida.....	22
Suplementación de AEO en dietas y agua en bebida.....	23
JUSTIFICACIÓN.....	24
HIPÓTESIS.....	25
OBJETIVOS	26
Objetivo General.....	26

Objetivos particulares.....	26
MATERIALES Y MÉTODOS	27
Ubicación de la investigación.....	27
Diseño experimental	27
Dietas y manejo del área de investigación	28
Comportamiento productivo.....	29
Variables de la carne al sacrificio	29
Perfil sanguíneo	30
Morfología del intestino delgado.....	30
Medición de células caliciformes intestinales	31
Determinación de sIgA intestinal	32
Evaluación de la calidad de la carne de la pechuga de pollo.....	33
Variables fisicoquímicas	33
Pérdida por cocción y análisis de textura	33
Evaluación sensorial.....	34
Análisis estadístico de los datos	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
Comportamiento Productivo	36
Perfil sanguíneo	41
Morfología del intestino delgado.....	44
Células Caliciformes	52
Inmunoglobulina A	59
Variables fisicoquímicas de la carne de pechuga de pollo.....	66
Fuerza de corte y perfil de textura de la carne.....	68
Evaluación sensorial de la carne.....	71
CONCLUSIONES	73
BIBLIOGRAFÍA.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Pollos de engorda sacrificados (millones de cabezas) a nivel mundial del año 2015 al 2017.	3
Tabla 2. Producción (millones de toneladas) mundial de carne de pollo en el periodo 2015-2017.....	4
Tabla 3. Pollos de engorda sacrificados (millones de cabezas) a nivel nacional del año 2016 al 2018.	5
Tabla 4. Producción (millones de toneladas) a nivel nacional de carne de pollo en el periodo 2016-2018.....	6
Tabla 5. Tratamientos suplementados con aceite de orégano en pollos de engorda.	28
Tabla 6. Dieta inicial (1-21 d) y final (22-42 d) en la engorda de pollos	29
Tabla 7. Valores de probabilidad de los parámetros del modelo sobre el comportamiento productivo de los pollos de engorda suplementados con aceite de orégano.	36
Tabla 8. Influencia del aceite de orégano en el comportamiento productivo de pollos de engorda en 41 días.	37
Tabla 9. Eficiencia productiva en pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en 41 días.....	39
Tabla 10. Influencia del aceite de orégano suplementado en dietas sobre la producción de carne de pollos de engorda.	41
Tabla 11. Biometría hemática y frotis sanguíneo de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en dieta y agua de bebida a los 42 d.....	43
Tabla 12. Morfología del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en 42 d.	45
Tabla 13. Efecto del aceite de orégano sobre células caliciformes y células productoras de IgA en el intestino delgado de pollos de engorda a 42 días.	53
Tabla 14. Efecto del aceite de orégano en pechuga de pollos sobre variables fisicoquímicas y parámetros de color.....	67
Tabla 15. Pérdida por cocción y análisis textura en pechugas de pollos suplementados con aceite de orégano.	69
Tabla 16. Evaluación sensorial en pechuga de pollo suplementado con aceites de orégano.	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de a) timol y b) carvacrol.	11
Figura 2. Intestino delgado (íleon) de las aves (H-E; 100x).	14
Figura 3. Respuesta inmune en el intestino delgado.....	16
Figura 4. Criterios de medición en las vellosidades del intestino delgado.	31
Figura 5. Histología del intestino delgado de pollos de engorda sin la suplementación de aceite esencial de orégano (CON).	47
Figura 6. Histología del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en dieta (AODI).	48
Figura 7. Histología del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en agua de bebida (AOAB).	49
Figura 8. Histología del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en dieta y agua de bebida (DIAB).	50
Figura 9. Histología del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con emulsificante Tween20 (TWN).	51
Figura 10. Efecto del aceite de orégano sobre células caliciformes en secciones del intestino delgado de pollos de engorda sin suplementar con aceite de orégano (CON)..	54
Figura 11. Efecto del aceite de orégano sobre células caliciformes en secciones del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en dieta (AODI).	55
Figura 12. Efecto del aceite de orégano sobre células caliciformes en secciones del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en agua de bebida (AOAB).	56
Figura 13. Efecto del aceite de orégano sobre células caliciformes en secciones del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en dieta y agua de bebida (DIAB).	57
Figura 14. Efecto del aceite de orégano sobre células caliciformes en secciones del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con Tween20 emulsificado (TWN).	58
Figura 15. Efecto del aceite de orégano en dieta y agua de bebida sobre células positivas para IgA ($n/\mu\text{m}^2$) en íleon de pollos de engorda.	60

Figura 16. Efecto de la suplementación de aceite de orégano en dieta y agua de bebida sobre células positivas para IgA ($n/\mu\text{m}^2$) en íleon de pollos de engorda sin la suplementación de aceite de orégano (CON).....	61
Figura 17. Efecto de la suplementación de aceite de orégano en dieta y agua de bebida sobre células positivas para IgA ($n/\mu\text{m}^2$) en íleon de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en dieta (AODI).....	62
Figura 18. Efecto de la suplementación de aceite de orégano en dieta y agua de bebida sobre células positivas para IgA ($n/\mu\text{m}^2$) en íleon de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en agua de bebida (AOAB).	63
Figura 19. Efecto de la suplementación de aceite de orégano en dieta y agua de bebida sobre células positivas para IgA ($n/\mu\text{m}^2$) en íleon de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en dieta y agua de bebida (DIAB).....	64
Figura 20. Efecto de la suplementación de aceite de orégano en dieta y agua de bebida sobre células positivas para IgA ($n/\mu\text{m}^2$) en íleon de pollos de engorda suplementados con Tween20 emulsificado (TWN).....	65

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto del aceite esencial de orégano Mexicano *Lippia berlandieri* Schauer (AEO) en dieta (DI) y agua de bebida (AB) de pollos de engorda sobre su comportamiento productivo, morfología intestinal, respuesta inmune, perfil sanguíneo, producción y calidad de la carne. Un total de 300 pollos Ross-308 no sexados de un día de edad fueron estudiados durante seis semanas, asignándolos aleatoriamente en un arreglo de cinco tratamientos: CON = control negativo dieta control (sin AO en dieta ni agua), AODI = 200 mg/kg de AO en DI, AOAB = 200 mg/kg de AO en AB, DIAB = 200 mg/kg de AO en DI + 200 mg/kg de AO en AB, y TWN = 200 mg/kg emulsificante Tween20 en AB. Cada tratamiento constó de seis corrales (réplicas) con 10 pollos cada uno. El grupo CON fue el más alto ($P < 0.05$) en peso pollos (PP) y consumo de agua (CAG), por otra parte, AOAB fue el más bajo ($P < 0.05$) en PP y AODI en CAG; sin embargo, el tratamiento DIAB no resultó diferente estadísticamente ($P > 0.05$) con respecto al grupo control en estas variables. La ganancia de peso semanal tuvo el valor más alto ($P < 0.05$) en CON y el más bajo ($P < 0.05$) en AOAB. En eficiencia alimenticia AOAB obtuvo el mayor valor ($P < 0.05$) en el periodo 2-41 d. El peso sacrificio no presentó diferencia ($P > 0.05$) entre los tratamientos. En los parámetros sanguíneos, el conteo de glóbulos blancos y heterófilos fueron más altos ($P < 0.05$) para DIAB, los linfocitos obtuvieron valores más altos ($P < 0.05$) en AOAB, mientras que los basófilos y eosinófilos fueron más influenciados ($P < 0.05$) por AODI. La morfología del intestino delgado presentó diferencias ($P < 0.05$) entre los tratamientos suplementados con AO. En lo que respecta a duodeno, largo de vellosidad (LV), ancho de vellosidad (AV) y profundidad de la cripta (PC) fueron más altas ($P < 0.05$) en AODI. En yeyuno, las variables morfológicas aumentaron ($P < 0.05$) con el tratamiento TWN, a excepción de AV la cual fue más alta ($P < 0.05$) en AOAB. En íleon, las variables AV y PC fueron mayores ($P < 0.05$) en DIAB. El número de células caliciformes fueron mayores ($P < 0.05$) con el tratamiento AOAB en duodeno y DIAB en yeyuno e íleon. Las células IgA evaluadas en el íleon, mostraron mayor presencia ($P < 0.05$) con el tratamiento AOAB en comparación con los demás tratamientos evaluados. En los parámetros de color, la tendencia al color rojo (a^*) presentó mayores valores ($P < 0.05$) en el tratamiento AODI. El AOAB presentó el valor más bajo ($P < 0.05$) en fuerza de corte; por otra parte, DIAB

obtuvo los menores valores ($P < 0.05$) en dureza, gomosidad y masticabilidad; por lo tanto, en la evaluación sensorial este tratamiento fue el mejor aceptado ($P < 0.05$) en suavidad y en términos generales, el tratamiento AODI fue el más aceptado ($P < 0.05$) sensorialmente por los consumidores. Finalmente, los resultados indicaron que el AEO Mexicano suplementado en DI y AB influyen en las características de sacrificio, calidad de la carne de pollo y salud intestinal. Por otra parte, la suplementación de AO en agua de bebida obtuvo una mayor influencia en los parámetros morfológicos intestinales e inmunidad de los pollos de engorda.

ABSTRACT

The objective of the current study was to evaluate the effect of Mexican oregano essential oil *Lippia berlandieri* Schauer (OEO) into diet (DI) and drinking water (DW) of broilers on their performance, intestinal morphology, immune response, blood profile and meat quality. A total of 300 non-sexed Ross-308 (1-day-old) chickens were tested at six weeks, they were allocated in five treatments: CON = negative control diet (without OE in diet or water), OEDI = 200 mg/kg of OE in DI, OEDW = 200 mg/kg of OE in DW, DIDW = 200 mg/kg of OE in DI + 200 mg/kg of OE in DW, and TWN = 200 mg/kg emulsifier Tween20 in DW. Each treatment had six pens (replicates) with 10 chickens each. CON group was the highest ($P < 0.05$) for body weight (BW) and water intake (WI), but OEDW was lower ($P < 0.05$) at BW and OEDI at WI; however, DIDW treatment was not statistically different ($P > 0.05$) for control group on those variables. The weight gain had the highest ($P < 0.05$) value for CON and the lowest ($P < 0.05$) at OEDW. In feed efficiency OEDW obtained the highest ($P < 0.05$) value at period 2-41. The slaughter weight did not present a difference ($P > 0.05$) between treatments; CON and DIDW gave higher ($P < 0.05$) values in this variable. In blood parameters, white blood cell count (WCC) and heterophiles were higher ($P < 0.05$) for DIDW, lymphocytes obtained higher ($P < 0.05$) values at OEDW, while basophils and eosinophils were influenced ($P < 0.05$) for OEDI. The small intestine morphology showed differences ($P < 0.05$) between the treatments supplemented with OE. Duodenum, villus length (VL), villus width (VW) and crypt depth (CD) were higher ($P < 0.05$) for OEDI. At jejunum, morphological variables increased ($P < 0.05$) for TWN treatment, but OEDW was higher ($P < 0.05$). In ileum, VW and CD variables were higher ($P < 0.05$) for DIDW. Goblet cells number was higher ($P < 0.05$) for OEDW treatment in duodenum and DIDW in jejunum and ileum. IgA cells evaluated into ileum showed a higher ($P < 0.05$) presence for OEDW group compared to other treatments. Color parameters, redness (a^*) presented higher ($P < 0.05$) values at OEDI. OEDW presented the lowest ($P < 0.05$) value at shear force; on the other hand, DIDW obtained the lowest ($P < 0.05$) values at hardness, gumminess and chewiness; hence, meat sensory evaluation for this treatment was the best ($P < 0.05$) accepted at softness and OEDI treatment was the best ($P < 0.05$) accepted sensorially by consumers. Finally, results indicated that the OEO supplemented in DI and DW influenced the

slaughter weight, meat quality and intestinal health. Otherwise, the OEO supplementation in drinking water obtained greater influence in intestinal morphology and broilers immunity.

INTRODUCCIÓN

La producción de carne de pollo a nivel mundial ha aumentado progresivamente, convirtiéndose en una industria especializada. Esto conlleva al uso de antibióticos como prevención de enfermedades y promotores de crecimiento para mejorar la producción, rendimiento y eficiencia alimenticia. Sin embargo, el uso de estos aditivos ha beneficiado la evolución de los patógenos y residuos químicos en la carne, causando preocupación sobre la seguridad de los productos de origen animal y su impacto potencial en la salud humana, la salud animal y el medio ambiente. En consecuencia, el uso de aditivos en la ganadería en distintos países ha sido regulado, así como también en la producción avícola. En los Estados Unidos se presenta una notable regulación y reducción significativa de estas sustancias en la producción industrial de alimentos para animales, mientras que en Brasil y China el uso del antibiótico colistina en 2016 ha sido prohibida (Cardinal et al., 2019).

Ante esta situación, diversas alternativas biológicas en la producción avícola han estado evaluándose como una opción sana que involucra el bienestar animal y sustitución de compuestos químicos en las dietas de las aves; entre estas opciones están los extractos de plantas aromáticas, conocidos como aceites esenciales (AE). Los AE se han propuesto como alternativas al uso de antibióticos y promotores de crecimiento en la producción avícola, ya que tienen actividad antimicrobiana, estimulación del apetito, secreción de enzimas endógenas, aumento de la digestibilidad, así como estimulan la circulación sanguínea y pueden mejorar el estado inmune de las aves (Betancourt et al., 2014; Brenes et al., 2010). Algunos de los AE evaluados en la producción de pollos de engorda han sido los derivados del tomillo, lavanda, canela y orégano.

El aceite esencial de orégano (AEO) es una alternativa al emplearse como promotor de crecimiento y antibiótico natural ya que mejora la producción en los pollos, debido a sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas (Silva-Vázquez et al., 2017), mejorando la ingesta de alimento, conversión alimenticia, digestibilidad y disminución de enfermedades (Alagawany et al., 2018).

Diversas investigaciones han evaluado el AEO en pollos de engorda. A nivel mundial el orégano de origen Europeo (*Origanum vulgare* L., *Origanum onites* spp.) ha sido más estudiado sobre los parámetros productivos, morfología intestinal, respuesta inmune y

calidad de la carne (Hong et al., 2012; Peng et al., 2016; Reyer et al., 2017; Chowdhury et al., 2018ab; Luna et al., 2018; Eler et al., 2019). No obstante, recientemente las investigaciones del AEO Mexicano (*Lippia berlandieri* Schauer, *Poliomintha longiflora* Gray) en las dietas de pollos de engorda se han incrementado (Silva Vázquez et al., 2015; Méndez Zamora et al., 2017b; Silva-Vázquez et al., 2018; Cázares-Gallegos et al., 2019); sin embargo, la aplicación del AEO Mexicano y otros aceites en agua de bebida (AB) (Gámez Piñón et al., 2015; Hernández-Cornado et al., 2019; Adaszyńska-Skwirzyńska et al., 2019; Tekce et al., 2019) han obtenido gran interés, lo que podría reflejarse en un mejor aprovechamiento del AEO suplementado en AB por los pollos de engorda. Esto supone que, al entrar en contacto con el alimento en el tracto digestivo del pollo, podría mejorar la digestibilidad y degradación de los nutrientes para que sean mejor absorbidos por el tracto digestivo, beneficiando el comportamiento productivo, estado inmune, morfometría intestinal y calidad de la carne producida.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto del AEO Mexicano *Lippia berlandieri* Schauer en la dieta y el agua de bebida de pollos de engorda sobre su comportamiento productivo, morfología intestinal, respuesta inmune, perfil sanguíneo, producción y calidad de la carne.

ANTECEDENTES

Producción mundial de carne de pollo

Los principales países con mayor número de pollos de engorda sacrificados están presentes en la Tabla 1. China, Estados Unidos de América (EUA) y Brasil ocuparon los tres primeros lugares, y México ocupó el octavo lugar (FAOSTAT, 2019). México en el año 2018 sacrificó 1.81 millones de aves (SIAP, 2019). Los países que encabezan los mayores sacrificios se caracterizan por su alta producción con la utilización de antibióticos en la producción con los siguientes porcentajes tales como con un 23% en China, en EUA el 13%, en Brasil el 9% en India el 3% (Bacanli et al., 2019).

Tabla 1. Pollos de engorda sacrificados (millones de cabezas) a nivel mundial del año 2015 al 2017.

Lugar	2015		Lugar	2016		Lugar	2017	
	País ¹	AS ²		País	AS		País	AS
1	China	9.23	1	China	9.52	1	China	9.40
2	EUA	8.82	2	EUA	8.91	2	EUA	9.05
3	Brasil	5.80	3	Brasil	5.86	3	Brasil	5.84
4	Indonesia	2.53	4	Indonesia	2.76	4	Indonesia	2.85
5	Rusia	2.40	5	India	2.49	5	Rusia	2.54
6	India	2.39	6	Rusia	2.43	6	India	2.54
7	Irán	1.69	7	Irán	1.85	7	Irán	1.85
8	México	1.64	8	México	1.68	8	México	1.73
	Otros	29.54		Otros	30.29		Otros	30.76
	Total	64.04		Total	65.79		Total	66.57

¹EUA: Estados Unidos de América.

²AS: animales sacrificados.

Fuente: FAOSTAT, 2019.

La Tabla 2 presenta la producción de carne de pollo a nivel mundial. EUA, Brasil y China fueron los principales productores de carne de pollo del año 2015 al 2017, mientras que en este mismo periodo México ha ocupado el sexto lugar con aproximadamente 3.0 millones de toneladas (FAOSTAT, 2019). Particularmente, la producción en México ha tenido un crecimiento significativo en el 2018, con una producción de 3.33 millones de toneladas (SIAP, 2019).

Tabla 2. Producción (millones de toneladas) mundial de carne de pollo en el periodo 2015-2017.

Lugar	2015		Lugar	2016		Lugar	2017	
	País ¹	Producción		País	Producción		País	Producción
1	EUA	18.40	1	EUA	18.71	1	EUA	19.14
2	Brasil	13.15	2	Brasil	13.23	2	Brasil	13.61
3	China	12.08	3	China	12.81	3	China	12.86
4	Rusia	4.09	4	Rusia	4.14	4	Rusia	4.44
5	India	3.26	5	India	3.41	5	India	3.52
6	México	2.96	6	México	3.08	6	México	3.21
	Otros	49.93		Otros	51.55		Otros	52.28
	Total	103.87		Total	106.93		Total	109.06

¹EUA: Estados Unidos de América
Fuente: FAOSTAT, 2019.

Producción nacional

En los últimos años, la economía de México se ha incrementado notablemente. El producto interno bruto aumentó de 1.17 billones de dólares en el 2015 y finalizando a 1.22 billones de dólares en el 2018 (The World Bank, 2019). Este aumento es impulsado principalmente por actividades primarias con un incremento del 5.3% anual en comparación al año anterior, mientras que las actividades secundarias y terciarias no mostraron una variación que puedan atribuir a este notable incremento (INEGI, 2019). Por

lo que se presentó un crecimiento en la producción de carne de pollo, colocando a México en uno de los principales productores a nivel mundial.

La Tabla 3 muestra los estados con mayor número de pollos de engorda sacrificados. Los tres principales estados son Aguascalientes, Jalisco y Veracruz, mientras que Nuevo León ha ocupado el 13° y 14° lugar. Por consiguiente, el aumento del sacrificio de pollos de engorda a nivel nacional lo coloca como una de las principales actividades primarias, tal como lo es la ganadería. La explotación avícola impulsa el desarrollo económico, debido al soporte que representan para otros sectores de la economía, como oleaginosas y cereales utilizados como base en su alimentación, así como de otras explotaciones ganaderas (Sosa et al., 2017).

Tabla 3. Pollos de engorda sacrificados (millones de cabezas) a nivel nacional del año 2016 al 2018.

Lugar	2016		Lugar	2017		Lugar	2018	
	Estado ¹	Producción		Estado ¹	Producción		Estado ¹	Producción
1	Ags	0.20	1	Jco	0.20	1	Ags	0.22
2	Jco	0.18	2	Ags	0.19	2	Jco	0.21
3	Vcz	0.17	3	Vcz	0.19	3	Vcz	0.21
4	Qro	0.15	4	Qro	0.18	4	Qro	0.18
5	Dgo	0.14	5	Dgo	0.14	5	Dgo	0.14
13	NL	0.04	14	NL	0.04	14	NL	0.00
	Otros	0.78		Otros	0.79		Otros	0.86
	Total	1.68		Total	1.73		Total	1.81

¹Ags: Aguascalientes; Jco: Jalisco; Vcz: Veracruz; Qro: Querétaro; Dgo: Durango; NL: Nuevo León.
Fuente: SIAP, 2019.

La producción nacional de carne de pollo y los principales estados productores están presentados en la Tabla 4. Entre los estados con mayor producción de carne de pollo son Jalisco, Veracruz, Aguascalientes, representando el 35% de la producción nacional. Mientras que, el estado de Nuevo León ha ocupado el 13° y 14° lugar. En el año 2018 se

produjeron 6.94 millones de toneladas de diferentes tipos de carne; entre ellos la producción de carne de pollo representa el 48% de este total, mientras que la producción bovina 28.5 %, la porcina 21.6 %, el resto de las producciones están la de ovino, caprino y guajolote representan un 1.7 % (SIAP, 2019).

Tabla 4. Producción (millones de toneladas) a nivel nacional de carne de pollo en el periodo 2016-2018.

Lugar	2016		Lugar	2017		Lugar	2018	
	Estado ¹	Producción		Estado ¹	Producción		Estado ¹	Producción
1	Jco	0.36	1	Jco	0.37	1	Vcz	0.39
2	Vcz	0.33	2	Vcz	0.36	2	Jco	0.39
3	Ags	0.32	3	Qro	0.35	3	Ags	0.37
4	Qro	0.29	4	Ags	0.34	4	Qro	0.35
5	Dgo	0.28	5	Dgo	0.28	5	Dgo	0.28
14	NL	0.08	14	NL	0.07	15	NL	0.07
	Otros	1.41		Otros	1.44		Otros	1.49
	Total	3.08		Total	3.21		Total	3.34

¹Jco: Jalisco; Vcz: Veracruz; Ags: Aguascalientes; Qro: Querétaro; Dgo: Durango; NL: Nuevo León.
Fuente: SIAP, 2019.

Aditivos en la producción de pollos de engorda

La producción avícola ha incrementado debido a la utilización de distintos aditivos en alimentación animal para aumentar la digestibilidad de los nutrientes, eficiencia alimenticia, preservar la salud animal, mejorar el crecimiento y obtener una mayor producción. Para obtener estos objetivos, antibióticos y promotores de crecimiento a base de hormonas han sido utilizados. Sin embargo, los patógenos han incrementado su resistencia a estos aditivos y regulaciones internacionales en su uso son aplicadas. Por lo tanto, una gran cantidad de investigaciones se han centrado en el desarrollo de alternativas naturales para mantener o mejorar la salud y aumentar la productividad animal tales como

probióticos, prebióticos, simbióticos, ácidos orgánicos, enzimas, fitogénicos, péptidos antimicrobianos y bacteriófagos (Gadde et al., 2017; North et al., 2019).

Hormonas de crecimiento

Los tratamientos hormonales utilizados como promotores del crecimiento incluyen hormonas sexuales naturales y sustancias relacionadas tales como oligosacáridos y polipéptido obtenidos de *Streptomyces bambergiensis* y *Streptomyces ghanaensis* (Cardenal et al., 2019). Estos compuestos que promueven el crecimiento anabólico natural y sintético se han utilizado en la producción animal con la finalidad de mejorar la eficiencia alimenticia y la calidad de la canal (Mahmoud et al., 2019).

Las principales hormonas de crecimiento como somatotropina, estrógeno, progesterona, testosterona y otros esteroides utilizados especialmente en bovinos, terneros y cerdos (Stephany et al., 2010). Sin embargo, en las últimas décadas existe evidencia que vincula la presencia de residuos promotores de crecimiento en la carne de los animales alimentados con estos compuestos, creando una preocupación en la salud humana (Ronquillo et al., 2017). Diversos autores han realizado investigaciones donde evalúan el efecto de la hormona de crecimiento en pollo derivada de la pituitaria (p-cGH) aplicada vía subcutánea, obteniendo resultados negativos en su administración en pollos de engorda, en cuanto a parámetros productivos y produciendo una evidente concentración plasmática, reduciendo la ingesta de alimento y, por lo tanto, no promueven un rápido crecimiento (Cogburn et al., 1989; Cravener et al., 1989). Por otra parte, recientes investigaciones con somatotropina presentaban bajos niveles sistémicos de IGF-I (factor de crecimiento similar a la insulina I) (Scanes et al., 2010) y con somatotropina exógena se asociaba con una baja regulación de los receptores de somatotropina tisular, por lo que no estimulan el crecimiento en pollos, descartado su aplicación (Harvey et al., 2013).

Las hormonas de crecimiento en la producción de carne de pollo de engorda no son utilizadas, por diversos factores tales como que son demasiado caras para usarse en pollos, no promueven el crecimiento en aves de corral; debido a que las hormonas de crecimiento no tienen efectos fisiológicos en las aves porque son comercializadas antes de alcanzar la madurez sexual y además su uso es ilegal en muchos países. Por otra parte, la mejora exitosa de la producción de carne de aves de corral es el resultado de un progreso

combinado en los campos de genética, nutrición, microbiología, inmunología, gestión, ingeniería y procesamiento de alimentos (Esquivel-Hernández et al., 2017).

Antibióticos

Los antibióticos son utilizados en la producción animal desde 1950 con la finalidad de mejorar la alimentación y acelerar las tasas de crecimiento y reducir las enfermedades, ya que aumenta la eficiencia de la producción animal, sobre todo en la producción avícola (Van et al., 2019). Sin embargo, el uso generalizado de antimicrobianos (antibióticos) en la alimentación animal aumentó a medida que disminuyeron los costos de fabricación y producción; esto causó su uso indiscriminado, así como la evolución y selección de microorganismos resistentes, que indirectamente han provocado el aumento de enfermedades en humanos y animales; además, pueden presentarse residuos en los productos de origen animal.

Estos residuos de antibióticos en los alimentos de origen animal están relacionados con dos situaciones; a) Producen una amenaza potencial para la toxicidad directa en humanos b) Los niveles de exposición a antibióticos provocan una alteración de la microflora, causando enfermedades y el posible desarrollo de cepas resistentes a antibióticos (Menkem et al., 2019). Por consiguiente, basado en estas posibilidades, la problemática sería reducir su uso, su restricción y prohibición. El uso de antibióticos en la producción de pollos de engorda tiene una estimación anual de 148 mg/kg con el objetivo de obtener mejores resultados en la salud animal, el peso y eficiencia alimenticia. Sin embargo, su efecto es variable debido a diversos factores como el potencial genético, fase de crianza y prácticas de higiene (Cardinal et al., 2019).

Alternativas naturales

Actualmente, diversas investigaciones se han realizado para buscar alternativas naturales en la engorda de pollos, con el objetivo de aumentar la productividad animal. Algunos de estos casos son los siguientes:

- **Probióticos:** Son microorganismos vivos que al ser administrados se obtiene un efecto beneficioso para la salud del huésped, los más utilizados son bacterias del ácido

lácticas (LAB), el *bacilo* y las *bifidobacterias*; estos mejoran la salud animal, aumentando la resistencia a las enfermedades, con un mayor rendimiento productivo, mejora del crecimiento y una mejor calidad del producto, debido al mantenimiento de la integridad del revestimiento intestinal y al bloqueo del movimiento de los microbios patógenos desde el intestino hacia la sangre (Al-Khalaifah et al., 2018; Oviedo-Rondón et al., 2019).

- Prebióticos: Son ingredientes alimenticios que promueven el crecimiento de bacterias deseables del tracto gastrointestinal, mejorando el equilibrio microbiano intestinal, donde las bifidobacterias y/o lactobacilos se vuelven predominantes y ejercen posibles efectos promotores de la salud animal (Gaggia et al., 2010).
- Ácidos orgánicos: Son ácidos monocarboxílicos simples que causan la inhibición del crecimiento bacteriano, reduciendo el nivel de pH del tracto gastrointestinal superior, mejorando fisiológicamente la mucosa intestinal y alterando la microflora intestinal mejorando en el aumento de peso y la eficiencia alimenticia de pollos de engorda (Gadde et al., 2017).
- Enzimas: Son utilizadas con la finalidad de aumentar la digestibilidad de los nutrientes y optimizan el valor nutricional de la dieta, además mejoran la biodisponibilidad de nutrientes para el animal y/o para su microbiota intestinal. Las enzimas exógenas que incluyen B-glucanasa, xilanasa, amilasa, B-galactosidasa, proteasa, lipasa, fitasa y B-mananasa (Aureli et al., 2018; Cowieson et al., 2019).
- Alimentos fermentados: Son asociados con una mayor producción de LAB, un pH bajo y una alta concentración de ácidos orgánicos, beneficiando la salud gastrointestinal, la morfología intestinal, funciones inmunes y el rendimiento de crecimiento de las aves. Los principales alimentos fermentados utilizados en la producción de pollos de engorda y con características positivas son *Aspergillus oryzae* con harina de soja fermentada, trigo fermentado y cebada (sin inoculantes microbianos), cebada fermentada o trigo (*Lactobacillus* o *Bacillus* como inóculos iniciadores) y *Saccharomyces cerevisiae*. (Sugiharto et al., 2019).
- Compuestos fitogénicos: Son compuestos bioactivos naturales que se derivan de las plantas, hierbas, especias, sus AE de éstas, las mezclas o sus componentes activos.

Fitogénicos (aceites esenciales)

Los compuestos fitogénicos también se pueden clasificar como AE obtenidos por extracción en frío o por distintas destilaciones (Gadde et al., 2017). La actividad biológica de los AE depende de su compleja mezcla de moléculas volátiles, su composición química, genética de las plantas, condiciones ambientales, etapa en la cosecha y procesos de extracción de compuestos activos (Stevanović et al., 2018).

Los AE son compuestos volátiles naturales formados como metabolitos secundarios por plantas aromáticas, y mejoran el alimento de los animales debido a sus efectos antioxidantes relacionados con los grupos hidroxilo (Migliorini et al., 2019); además de mejorar la salud intestinal y modular el microbiota (Moraes et al., 2019). El AEO se ha evaluado como aditivo en la alimentación de pollos de engorda, beneficiando la ingesta de alimento, crecimiento, secreciones digestivas y los efectos sobre patógenos *in vitro*. Esto debido a la alta volatilidad de sus compuestos, lo que conduce a una rápida absorción en el tracto gastrointestinal, mejorando la salud de las aves y controlando los patógenos en el tracto gastrointestinal (Bauer et al., 2019; Betancourt et al., 2019).

Orégano

El orégano es una planta aromática, cuyas hojas y sus aceites esenciales se consideran fitogénicos, los cuales pueden suplementarse en las dietas de pollos de engorda. Diversas investigaciones han evaluado la utilización de los AEO como promotores de crecimiento, antibióticos naturales y mejoradores de la calidad de la carne (Cázares-Gallegos et al., 2019; Sánchez-Zamora et al., 2019).

Existen dos principales tipos de orégano a nivel mundial en la producción de pollos de engorda, a) las variedades de orégano europeas o mediterráneas las cuales son *Origanum vulgare* L. y *Origanum onites* sp. A. *sativum* L., y, b) las variedades de orégano mexicano que incluyen el *Lippia graveolens*, *Lippia berlandieri* y *Poliomintha longiflora*, siendo los componentes principales de los AEO el carvacrol y el timol, mientras que la luteína y β -caroteno como los principales carotenoides (Hernández-Cornado et al., 2019)

El orégano Mexicano crece de manera silvestre en 24 estados de México. *Lippia berlandieri* Schauer es una planta herbácea nativa de México que pertenece a la familia *Lamiaceae*. El estado de Chihuahua es uno de los principales productores de esta especie

de orégano, aportando más del 90% de la producción nacional (Aranda-Ruíz et al., 2009; Silva et al., 2017).

Aceite esencial de orégano Mexicano

El aceite esencial de orégano Mexicano (AEOM) presenta altas concentraciones de carvacrol y timol, los cuales representan el 80% de su composición, seguidos de otros componentes como el β -mirceno, α -terpineno, γ -terpineno, p-cymene y ceneol (Silva-Vázquez et al., 2017; Calvo-Irabien et al., 2018) (Figura 1). Estos componentes en conjunto se caracterizan por su efecto antioxidante, antibacteriano, antiviral, antifúngico e insecticida (Silva & Dunford 2005, Ortega-Nieblas et al., 2011). La efectividad del AEOM se ha evaluado en la producción de pollo de engorda sobre el peso vivo, eficiencia alimenticia y calidad de la carne. Esto ha ofrecido un beneficio en la producción animal al emplearse como promotor del crecimiento y como una alternativa natural al uso de antibióticos (Silva-Vázquez et al., 2017; Silva-Vázquez et al., 2018; Cázares-Gallegos et al., 2019; Hernández-Coronado et al., 2019; Sánchez-Zamora et al., 2019).

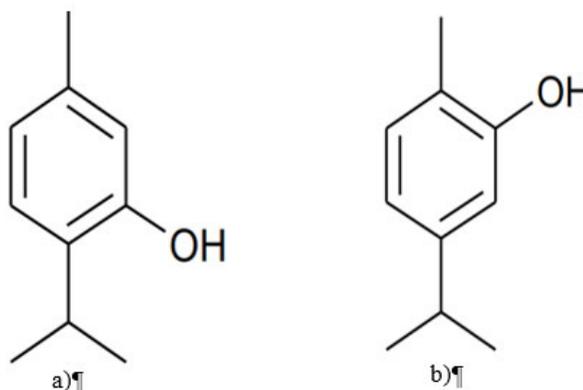


Figura 1. Estructura química de a) timol y b) carvacrol.

Fuente: Vazquez et al., 2001.

AEO en engorda de pollos

Parámetros productivos

La evaluación de dos calidades de AEO *Lippia berlandieri* Schauer; AO₁ (4% de timol, 60% de carvacrol) y AO₂ (40% de timol, 20% de carvacrol) estudiados en pollos de

engorda demostraron que AO₁ la calidad del AEOM con base en carvacrol influye sobre el peso vivo del pollo, consumo de alimento y agua; sin embargo, los niveles de AO (AO₁ 400 mg kg⁻¹ y AO₂ 800 mg kg⁻¹, por kg de alimento) y calidad del aceite esencial pueden tener otros efectos positivos en el proceso de engorda de pollos (Silva et al., 2015).

En general, una dosis 0.40 g kg⁻¹ de AEOM (*Lippia berlandieri* Schauer) en dietas para pollos de engorda puede tener efectos benéficos en el aumento de peso, ingesta de alimento y eficiencia alimenticia, así como la mejora de la lipoproteína de alta densidad (Méndez Zamora et al., 2017). Adicionalmente, la comparación de aceites de orégano *Lippia berlandieri* Schauer y *Poliomintha longiflora* Gray en 0.40 g kg⁻¹ en dietas para pollos de engorda aumenta el peso corporal, la cuenta de leucocitos y linfocitos, lipoproteínas de baja densidad y mejora los rendimientos de la carne (Silva-Vázquez et al., 2018). En relación con estos efectos positivos, pero con la variedad de orégano Europeo con la evaluación del timol, se ha reportado que es un potenciador del crecimiento corporal y protección contra la dermatitis de la almohadilla de la pata y quemaduras de corvejón (Luna et al., 2019). La evaluación del AEO (*Origanum vulgare* L.) en 300 mg/kg en dieta, demostró un mayor rendimiento en la canal, así como un incremento de glóbulos rojos y leucocitos siendo un estímulo expresivo no específico de respuesta inmunomediada y manteniendo la salud óptima del animal. Los resultados con AEO indican su utilización en dietas de engorda como aditivo fitogénico, especialmente en dietas sin potenciadores del rendimiento (Eler et al., 2019).

La adición en dieta del AEO colombiano *Lippia origanoides* Kunth en dosis 100 ppm tiene un efecto benéfico sobre el peso corporal y conversión alimenticia en pollos de engorda infectados con *Ooquistes de Eimeria* (coccidios) y distintos grupos bacterianos identificados de *E. tenella*, *E. acevulina* y *E. necatrix* con un impacto en la salud intestinal (Betancourt et al., 2019)

Morfología intestinal de las aves

La salud intestinal es compleja y abarca la integridad macro y microestructural del intestino, el equilibrio de la microflora y el estado del sistema inmunitario (Choct et al., 2009). La función principal del intestino delgado es procesar los alimentos a través de la

digestión y absorber los nutrientes a través de las criptas y vellosidades del epitelio absorbente hacia al torrente sanguíneo (Clavijo et al., 2017).

Las secreciones intestinales contienen mucina, con funciones protectoras y lubricantes, agua, enzimas, inmunoglobulinas (IgA), entre otros componentes, los cuales son importantes para el proceso digestivo y la protección frente a agentes físicoquímicos y biológicos (González y Barbeito, 2014). El intestino delgado de las aves se compone de tres secciones (Sisson et al., 1982):

- Duodeno: el cual tiene una longitud de 22 a 35 cm y el diámetro varía entre 0.8 a 1.2 cm. El duodeno está unido al estómago muscular (ligamento suspenso del duodeno) y al hígado por dos ligamentos (hepatoduodenal). La superficie intestinal tiene vellosidades grandes y está recubierto por epitelio columnar simple con células epiteliales en las que se abren unas glándulas simples de lámina propia. Cuentan con muchas células argentafines, especialmente en una zona estrecha al principio del duodeno.
- Yeyuno: éste tiene una longitud de 120 cm y diámetro 0.7 a 1.4 cm. La mucosa del yeyuno es idéntica al duodeno, pero con vellosidades más cortas. La pared del yeyuno es más gruesa que la del duodeno. La pared del saco vitelino es similar a la del yeyuno, con una gran cantidad de tejido linfoide.
- Íleon: tiene una longitud de 13 a 18 cm y su diámetro es de 0.7 a 1 cm. Al lado se encuentran los ciegos en lado derecho e izquierdo, pero estos forman parte del intestino grueso. La mucosa del íleon es idéntica a la del yeyuno, pero la pared es más gruesa.

Histología del intestino delgado

El intestino delgado está compuesto por cuatro capas: mucosa, submucosa, muscular y serosa (Choct et al., 2009) (Figura 2).

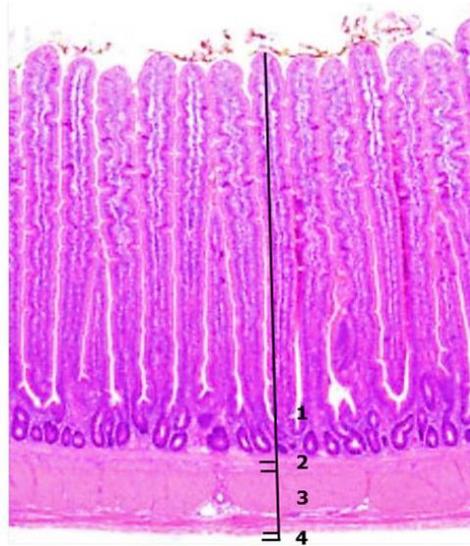


Figura 2. Intestino delgado (íleon) de las aves (H-E; 100x).

Se observan las cuatro tunicas típicas del órgano: mucosa (1), submucosa (2), muscular (3) y serosa (4). En la túnica mucosa se reconoce el tejido linfoide difuso y nodular asociado al intestino (5).

Fuente: Röhe et al. 2017

La mucosa del intestino delgado se vuelve progresivamente más delgada desde el duodeno hasta íleon, así como también las vellosidades disminuyen su altura al paso de estas regiones. Las vellosidades tienen una forma de eclipse y están cubiertas por enterocitos con microvellosidades, las células caliciformes y células enteroendócrinas. Las células caliciformes producen mucinógeno, el cual cuando se libera a la luz intestinal se hidrata y forma la mucina, cuya función es proteger a la mucosa intestinal. La cantidad de células caliciformes aumenta desde el duodeno hasta el íleon, debido a que las vellosidades intestinales se más cortas y las criptas menos profundas (Rose, 1997; Bacha et al., 2012) Las vellosidades más largas y las criptas poco profundas se encuentran asociadas con un aumento en el área de absorción luminal total y la posterior acción enzimática de enterocinasa, amilasa, diversas peptidasas y disacaridasas, obteniendo un mayor transporte de nutrientes (Biasato et al., 2018). La primera capa de defensa contra los microorganismos patógenos en la mucosa intestinal es el epitelio intestinal, que separa el material luminal de la lámina propia subyacente y las capas intestinales más profundas. El epitelio intestinal comprende cuatro líneas celulares que se originan en un progenitor común de las células madre: enterocitos absorbentes; células caliciformes las cuales son

productoras de moco; células enteroendocrinas encargadas de producir de hormonas; y células de Paneth, quienes son productoras de péptidos antimicrobianos (Kim et al., 2019). La submucosa es delgada, posee tejido conectivo denso con fibras colágenas y elásticas. La túnica muscular consta de una capa longitudinal externa delgada y una circular interna de mayor espesor entre las que se localizan el plexo nervioso mientérico, numerosos vasos sanguíneos y fibras elásticas. La túnica serosa consta de un mesotelio y de tejido conectivo que aumenta su espesor en la zona donde se origina el mesenterio (González y Barbeito, 2014).

Respuesta Inmune

La respuesta inmune innata se relaciona con la presencia de infección y proporciona una respuesta rápida a los patógenos. Los componentes principales de la inmunidad innata de los pollos son (1) barreras físicas y químicas, como plumas y piel, epitelios y producción de moco; (2) células fagocíticas, incluidos macrófagos y células asesinas naturales; (3) complementar las proteínas y mediadores de la inflamación; y (4) citoquinas (Kapczynski et al., 2013).

El sistema inmunológico de los pollos incluye tanto la respuesta inmune innata como la adquirida. En cuanto a la respuesta inmune innata, la mucosa intestinal se considera la primera línea de defensa contra infecciones y evita que las bacterias patógenas penetren en el epitelio intestinal. La superficie interior del intestino aviar está cubierta por una capa mucosa, compuesta por la glucoproteína mucina, la cual es secretada por las células caliciformes. (Clavijo et al., 2017) (Figura 3).

Las células epiteliales intestinales contribuyen a la inmunidad de la mucosa, se ha demostrado que los enterocitos expresan receptores de reconocimiento de patrones (RRP), ambos receptores extracelulares tipo Toll (RET)) y receptores intracelulares de tipo NOD (RIN) que detectan productos bacterianos conservados. En un estado de infección, comienza la respuesta inflamatoria del huésped, donde la interacción de las células epiteliales producen una capa mucosa doble (interna y externa) y secretan proteínas antimicrobianas (defensinas, catelicidinas, lectinas de tipo C), que en conjunto limitan la exposición bacteriana a las células epiteliales (Kogut et al., 2013). El agente patógeno es

reconocido por primera vez por las proteínas centinelas del huésped, incluidas las proteínas RRP y NOD, que producen una rápida señalización y activación del factor de transcripción que conducen a la producción de factores solubles, incluidos el interferón y las citocinas, diseñados para limitar y contener la replicación patógena (Kapczynski et al., 2013).

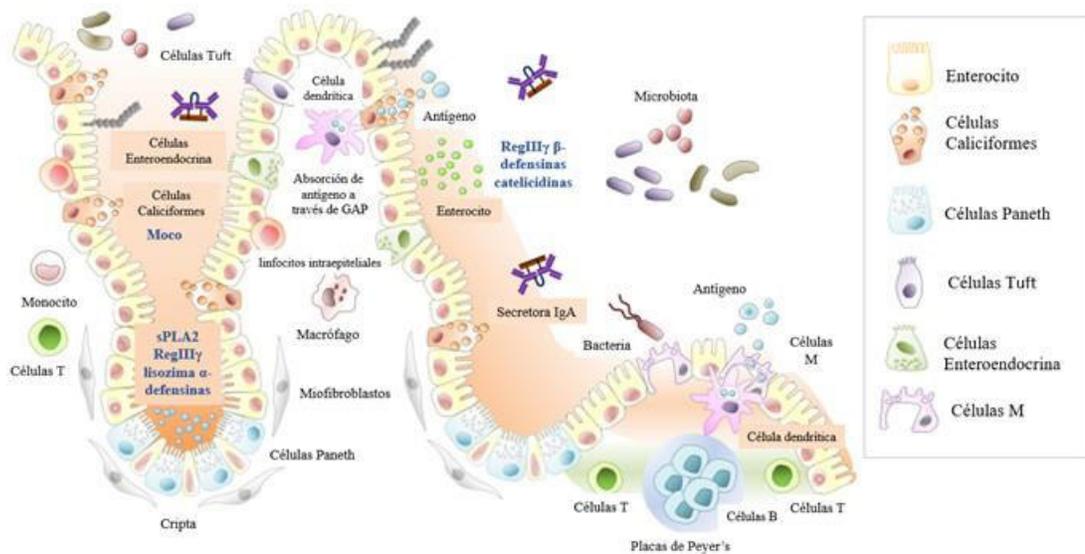


Figura 3. Respuesta inmune en el intestino delgado

Fuente: Allaire et al., 2018.

Por otra parte, el sistema inmunitario adquirido tiene una mayor protección específica a la membrana mucosa al modular la respuesta inmune y controlar la cantidad de mediadores secretados por las células del sistema inmunitario adquirido (Clavijo et al., 2017). El intestino es el mayor reservorio de linfocitos T y B, que son principales células efectoras de la respuesta de memoria, además de la secreción de IgA. Las células inmunes que participan en la respuesta inmune adaptativa se encuentran en el epitelio, donde se encuentran los linfocitos intraepiteliales (LIE) y lámina propia subyacente (LS). La mayoría de los LIE y los linfocitos LS son células T que incluyen una variedad de células efectoras. Las células T CD8 + citotóxicas predominan entre los LIE, pero las células T CD4 + se distribuyen en los LS y los folículos linfoides del intestino. Entre los subconjuntos de células T CD4 +, las respuestas excesivas de las células T de apoyo 1 (Th1) y Th17 están relacionadas con la inflamación intestinal. Para regular la actividad de

las células T inflamatorias, se induce a las células T reguladoras (Treg) a suprimir la respuesta inflamatoria a través de la producción de citocinas antiinflamatorias, que inhiben la función de células presentadoras de antígeno y mantener el intestino con una correcta homeostasis (Berghman et al., 2016; Kim et al., 2019).

La superficie interna del tracto intestinal posee una gran área de membrana mucosa que está continuamente expuesta a diversas sustancias, como medicamentos y alimentos. Los tejidos linfoides existen en el sitio de la mucosa intestinal y juegan un papel importante en el sistema inmune. Las placas de Peyer son tejidos linfoides en los que se producen respuestas inmunes a la mucosa, por ejemplo, producción de inmunoglobulina A (IgA) (Kubota et al., 2018).

Los plasmocitos de la lámina propia del intestino secretan anticuerpos dIgA diméricos. La dIgA dimérica está compuesta por dos subunidades de IgA monoméricas y una cadena J de polipéptidos. Las moléculas dIgA secretadas se unen al receptor de inmunoglobulina polimérica (pIdR) localizado en el dominio basal de las células epiteliales. El receptor pIdR es una glucoproteína transmembrana sintetizada por enterocitos y expresada en la membrana plasmática basal, el complejo pIdR- dIgA luego sufre de endocitosis y se transporta a través del epitelio por transcitosis hasta la superficie apical del enterocito; la dIgA es liberado con la porción extracelular del receptor pIgR y una parte de este receptor permanece con el dímero IgA, convirtiéndose en componente secretor de IgA (Ross, 2015). Las principales funciones de IgA son de protección en las superficies de la mucosa, ante patógenos, neutralizantes de virus, toxinas y enzimas, además de prevenir el paso de los antígenos a través de las barreras epiteliales (Allaire et al., 2018).

Con respecto al desarrollo inmune, el íleon generalmente se considera el sitio de activación inmune. Por otro lado, la expresión génica de IgA, el anticuerpo primario de la mucosa más abundante impide la entrada de bacterias comensales o patógenas en áreas subepiteliales, por lo tanto, desempeña un papel en el mantenimiento de la homeostasis intestinal (Bortoluzzi et al., 2018).

Los niveles de IgA secretora intestinal se correlacionan inversamente con el sobrecrecimiento bacteriano, la translocación bacteriana y los cambios en la permeabilidad intestinal y previene la unión de componentes microbianos a las células epiteliales intestinales; por otra parte, también pueden promover la eliminación de

microorganismos, que han roto la barrera epitelial, y la secreción de IgA juega un papel esencial en el sistema inmune intestinal contra la infección (Yanagibashi et al., 2013).

La investigación de los posibles mecanismos moleculares por la mezcla de AE de anís, romero, tomillo, orégano y saponinas contribuye en las alteraciones de los transportadores de macromoléculas y las vías de procesamiento para una mayor absorción y metabolización de carbohidratos y ácidos grasos, relacionado con la digestibilidad ileal mejorada, proteína cruda y aminoácidos en pollos de engorda (Reyer et al., 2017).

Dietas suplementadas con polvo de orégano (*Origanum vulgare*) al 1 y 2% aumenta la relación de altura de vellosidad a profundidad de criptas (Bauer et al., 2019). También 5% de carvacrol, 3% de cinamaldehído y 2% de capsaicina mejoran la conversión alimenticia y la salud intestinal de pollos de engorda, obteniendo una mayor altura en las vellosidades yeyunales y la profundidad de la cripta (Yan et al., 2019). La administración oral de 200 μ L de AEO aumenta el número células caliciformes en el intestino delgado, obteniendo una mejor la salud intestinal (Lui et al., 2019).

La suplementación de ácidos orgánicos encapsulados y AE (200 g/kg de ácido sórbico, 200 g/kg de ácido fumárico y 100 g/kg de timol) tienen una mayor presencia de IgA cuando se compara con un antibiótico (Enramicina), mejorando la respuesta inmune intestinal (Yang et al., 2019).

Perfil sanguíneo

La sangre constituye aproximadamente el 10% del peso vivo en aves, compuesta de varios tipos de células y el 15 % plasma que cubre estas células (Almargot, 1982).

- Células: Los eritrocitos tienen la forma de un elipsoide aplanado hinchado en su centro. En la gallina, sus células miden aproximadamente 7 x 12 μ m; su número se eleva a 2.72×10^6 mm^3 de sangre.

Los hematíes contienen un pigmento respiratorio rojo: la hemoglobina. La cantidad de hemoglobina presente en los hematíes contenida en 100 mL de sangre es de 12 g aproximadamente.

La función de los hematíes es fundamental para el transporte de oxígeno de los pulmones hasta las células de todo el organismo, así como la excreción pulmonar de gas carbónico.

- Los leucocitos cuyo número es de 3×10^4 por mm^3 de sangre es más elevado que en los mamíferos, presentan más particularidades: los heterófilos (25%), los eosinófilos (2%), los basófilos (1.5%), los linfocitos (65%) y los monocitos (6%).

Los leucocitos tienen una función importante en los procesos inmunitarios y los linfocitos intervienen en los fenómenos de inmunidad celular y humoral.

- Los trombocitos; estos elementos son nucleados en las aves. Su tamaño es de $2 \mu\text{m}$. Su número es de $3 \times 10^4 \text{ mm}^3$. La mayoría de los elementos figurados en la sangre se forman en la médula ósea, excepto los linfocitos que se elaboran en los ganglios linfáticos.
- El plasma: Es el líquido que cubre a las células sanguíneas formado de proteínas (albuminas, globulinas, fibrinógeno) de glúcidos (glucosa 1.5 a 2.5 g/L) de lípidos (colesterol, fosfolípidos, ácidos y glóbulos grasos), así como de sales minerales (Ca, Na, K, Cl, PO_4).
- El suero: Es el líquido ámbar que exuda la sangre fresca coagulada. Su composición es parecida al plasma, pero está desprovisto de fibrinógeno. Las gammaglobulinas que contiene se parecen a las de los mamíferos. Son las responsables de una parte de la inmunidad humoral. Sus propiedades de formar anticuerpos se evidencian durante las llamadas reacciones serológicas (Almargot, 1982).

El hemograma evalúa tres tipos de las células: los glóbulos rojos, los glóbulos blancos y los trombocitos, células producidas en la médula ósea mediante el proceso de fragmentación citoplasmática y que desempeñan un papel importante en la homeostasis; por lo tanto, los valores hematológicos de la sangre pueden presentar variaciones por diferentes factores como el sexo, edad, hábitat, la época del año, el estado reproductivo y el estrés ambiental (Gutiérrez-Castro et al., 2017).

La serie roja proporciona el valor del hematocrito; el porcentaje de eritrocitos en la sangre, así como la concentración de hemoglobina expresada en gramos por decilitros (g/dL). Por otra parte, aporta la cantidad total de eritrocitos circulantes por microlitros (μl) de sangre. El estudio de la serie blanca muestra el recuento total de leucocitos y su recuento diferencial. Hay cinco leucocitos básicos en todas las especies: neutrófilos (mamíferos) o heterófilos (no mamíferos), eosinófilos, basófilos, linfocitos y monocitos (Colón et al., 2015).

Los índices de Wintrobe, hemoglobina corpuscular media (HCM), concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM) y volumen corpuscular medio (VCM) tienen el objetivo de detectar la presencia de anemia y evalúa la capacidad de la médula ósea para producir glóbulos rojos de tamaño normal y la metabólica, así como el contenido de hemoglobina (Cardoso et al., 2003).

En relación, la suplementación de 0.2% de tres extractos de plantas, *Saposhnikovia divaricata*, *Lonicera japonica*, y *Chelidonium majus* pueden ser utilizado como aditivo natural en pollos de engorda para aumentar el peso y los perfiles de las células sanguíneas (glóbulos blancos, glóbulos rojos) y mejorar la calidad de la carne (Park et al., 2014). El uso de 0.40 g kg⁻¹ de AEOM (*Lippia berlandieri* Schauer) en dietas para pollos de engorda puede aumentar de peso, ingesta de alimento y eficiencia alimenticia, así como la mejora de la lipoproteína de alta densidad, y un aumento de glóbulos blancos, eritrocitos y hemoglobina (Méndez Zamora et al., 2017). Por otra parte, la comparación de AEO *Lippia berlandieri* Schauer y *Poliomintha longiflora* Gray en 0.40 g kg⁻¹ en dietas para pollos de engorda aumenta el peso, leucocitos, linfocitos, hematocritos, hemoglobina y lipoproteínas de baja densidad y la calidad de la carne (Silva-Vázquez et al., 2018).

Calidad de la carne

Las propiedades fisicoquímicas de la carne como los parámetros de color, textura y atributos sensoriales determinan la aceptabilidad del consumidor y las posibilidades de su almacenamiento o procesamiento. Los atributos de calidad más importantes para la carne de aves son la apariencia y la textura, debido a la selección inicial del producto por parte de los consumidores.

Los parámetros de color son un factor importante en las características de la carne en el mercado y su precio (Fletcher et al., 2002). Por ejemplo, el pH, parámetros de color y capacidad de retención de agua (CRA) de la carne indican el nivel de su calidad, especialmente para fines de almacenamiento (Popova et al., 2017). Otras características que ayudan en la evaluación de la calidad de la carne son la composición bromatológica, el perfil de textura, estructura del sarcómero, tamaño de la fibra muscular, capacidad antioxidante, perfil de ácidos grasos y aminoácidos, y perfil descriptivo sensorial.

Aceites esenciales sobre la calidad de la carne

Estudios recientes han demostrado que el efecto del AEO (*Lippia berlandieri* Schauer) en dietas para pollo de engorda combinando dosis de carvacrol y timol (400 y 800 mg/kg) influyen en los parámetros de color y CRA, así como en el incremento del rendimiento de la canal caliente y fría (Méndez-Zamora et al., 2015). Además, la evaluación del efecto de tres aceites de corteza de canela, aceite de clavo de olor y aceite de semilla de ajwain como una alternativa al promotor de crecimiento, pueden mejorar el rendimiento productivo debido a una notable mejora en los pesos de canal y una disminución en grasa abdominal, en este estudio empleando el aceite de clavo demostró una mejora en el contenido de cenizas totales en comparación con los demás tratamientos, en conjunto, los tratamientos adicionados con aceites mejoraron el contenido de proteína cruda en la pechuga de pollo (Chowdhury et al., 2018a). La suplementación del AEOM (*Lippia berlandieri* Schauer) en dosis de 200, 400 y 600 mg/kg mejora el peso de sacrificio y rendimiento de canal caliente, además de reducir el pH y pérdida de cocción. En cuanto a las variables de textura, la adición de 200 y 400 mg de AEO disminuyó la dureza de la carne y mejoró la preferencia sensorial (Cázares-Gallegos et al., 2019). La adición de aceite de orégano en 0.2 g kg⁻¹ mejora el peso de sacrificio y las variables de calidad de la carne. Pollos alimentados con 5.0 g kg inulina de agave disminuyeron la dureza y la fuerza de corte disminuyó con 5.0 g kg inulina de agave + 0.2 g kg AEO, y la inulina de agave en 10.0 g kg⁻¹ + AEO en 0.2 g kg⁻¹ aumentaron el color amarillo, saturación y tono de la carne (Sánchez-Zamora et al., 2019).

Tipos de suplementación de aceites esenciales en pollos de engorda

La principal aplicación de los AE en la suplementación de pollos de engorda es en la dieta. Esto se debe a la capacidad de mezcla y la homogeneidad todos los ingredientes, aunque también intervienen diferentes factores como la presentación del pienso (granulado, pellets, harinas) tamaño de partícula y disponibilidad (*ad libitum* y controlado) (Abdollahi et al., 2018; Iqbal et al., 2019). En segundo término, la aplicación de AE en agua de bebida son mínimas; sin embargo, existen estudios donde se detalla la utilización de emulsificadores y predominan su disponibilidad *ad libitum* (Adaszyńska-Skwirzyńska et al., 2019; Tekce et al., 2019). En contraste, a la fecha existen escasas investigaciones que

utilizan la suplementación de AE en la administración oral, debido a que se plantea que todas las aves reciban dosis exactas en su administración y así obtener una mayor uniformidad en la experimentación. (Liu et al., 2018).

Aplicación de aceites esenciales en dietas y agua de bebida

La suplementación de AE en la engorda de pollos es mayormente empleada en la dieta, no obstante, la adición de distintos aceites tiene efectos positivos en parámetros productivos, al ser adicionada en la dieta. La evaluación de un aditivo alimenticio fitogénico [(canela 20 g, comino 20 g, aceite de menta (*Mentha Piperita*) 170 g, aceite de ajo (*Allium sativum*) 150 g, aceite de anís (*Illicium verum Hook*) 50 g, aceite de hinojo (*Foeniculum vulgare*) 40 g, SiO₂ y NaCl como vehículo)] en la dieta, aumentó la altura de las vellosidades intestinales, el ancho de las vellosidades, y redujo la profundidad de la cripta y el número de células caliciformes por vellosidad (Ahsan et al., 2018). Asimismo, la suplementación en la dieta con ácidos orgánicos y AE (200 g/kg de ácido sórbico, 200 g/kg de ácido fumárico y 100 g/kg de timol) tiene una acción antimicrobiana al disminuir *E. coli*, reduciendo el pH de la digesta yeyunal e ileal, y promovió la actividad de la enzima digestiva (Yang et al., 2019).

La suplementación de un aditivo alimenticio fitogénico (350 g/kg a base de hierbas, especias y AE caracterizados por menta (*Mentha piperita*) y anetol (*Illicium verum Hook*) mejoraron la salud intestinal en diferentes dosis. 150 mg /kg tuvo un efecto estimulante sobre la fermentación microbiana en íleon y 100 mg/kg aumentó la expresión en la mucosa ileal (Paraskeuas et al., 2019). La suplementación de aceite esencial de menta (*Mentha piperita*) y tomillo (*Thymus vulgaris*) en agua de bebida influye positivamente en el sistema inmunológico de las aves, aumentando eritrocitos que pueden contribuir al fortalecimiento de la estabilidad de la membrana celular y disminuir la susceptibilidad de los eritrocitos a la hemólisis y aumenta el peso corporal de pollos de engorda (Witkowska et al., 2019).

Por otra parte, en agua de bebida (AB) la evaluación de los efectos de una mezcla de AE (*Eucalyptus globulus labill*, *Tymus vulgaris*, *Cymbopogon nardus* y *Syzygium aromaticum*) en agua de bebida y bajo estrés por calor, en dosis de 750 ml/1000 L a 22°C y 250 ml/1000 L a 36 °C, mejoraron parámetros productivos; sin embargo, no influyó en la calidad de la

carne (Tekce et al., 2019). En relación, la adicción de AE de lavanda en 0.4 ml/L en AB, tiene efectos positivos en las ganancias de peso y la relación de conversión alimenticia en el segundo periodo de engorda o producción (d 22-42), con un impacto benéfico en la microflora intestinal del íleon disminuyendo la cantidad de microorganismos patógenos como *Escherichia coli* y coliformes fecales, y aumentaron las bacterias probióticas (Adaszyńska-Skwirzyńska et al., 2019).

Suplementación de AEO en dietas y agua en bebida

En dieta, las investigaciones para determinar los efectos de una mezcla de AE en pollos de engorda infectados experimentalmente con coccidiosis, donde su componente principal fue el orégano (*Origanum vulgare*) en 250 y 500 mg/kg, obtuvieron una mayor ganancia de peso y en los parámetros de morfología intestinal mejoraron la altura de vellosidades intestinales (Tauer et al., 2019).

Por otra parte, en un estudio se demostró que la suplementación oral de 200 µL de AE carvacrol, tomillo (*Tymus vulgaris*) y orégano (*Origanum vulgare*) tenía un doble efecto: 1) el carvacrol aumentó las vellosidades intestinales, mientras que, 2) los aceites de tomillo y orégano aumentaron las células caliciformes; por otra parte, los parámetros de color tienen una mayor tendencia en el color rojo (a*) con carvacrol y orégano, por lo que el AE mejoró la calidad de la carne (Liu et al., 2018).

En agua de bebida, el uso de AEO en agua de bebida posiblemente presente efectos significativos en el pH, color y rendimiento en canal (Gámez Piñón et al., 2015). Inclusive, la investigación de dos variedades de orégano *Poliomintha longiflora* Gray y *Lippia berlandieri* Schauer en agua de bebida incrementaron el peso de pollos, consumo de alimento y agua, eficiencia alimenticia; siendo *Poliomintha longiflora* Gray con los mejores efectos en las características de sacrificio y calidad de la carne de pollo (Hernández-Coronado et al., 2019).

JUSTIFICACIÓN

Los antibióticos son utilizados de manera indiscriminada en la engorda de pollos, causando que bacterias patógenas sean más resistentes a estos compuestos. Esto ha causado que la salud del ser humano pueda estar en riesgo a infecciones e intoxicaciones. En consecuencia, el uso de estos compuestos está más regulado y restringido. Por lo que recientemente se buscan opciones que puedan reemplazar estos aditivos en la producción de aves. Una alternativa prometedora ha sido el uso de plantas aromáticas y de éstas sus aceites esenciales, el cual puede ser una opción a los antibióticos y promotores de crecimiento, cuidando la salud humana y animal. Por lo tanto, el propósito de estos aceites esenciales de plantas aromáticas es mejorar la producción avícola, sin comprometer la salud del consumidor.

Diversas investigaciones evalúan los aceites esenciales de orégano Europeo (*Origanum vulgare*) y Mexicano (*Lippia berlandieri* Schauer y *Poliomintha longiflora* Gray); lo cuales demuestran su efectividad como potenciadores del crecimiento, y el Europeo mejora la salud animal. Estos aceites esenciales de orégano se reportan en diferentes estudios de pollos de engorda, administrándolo principalmente en las dietas y benefician los parámetros productivos y calidad de la carne, pero solo el Europeo reporta mejoras en la morfología intestinal y sistema inmune de los pollos de engorda. No obstante, escasas investigaciones han estudiado el aceite de orégano en agua de bebida sobre el perfil sanguíneo, respuesta inmune, morfología intestinal y calidad de la carne. Por lo que, resulta interesante usar el aceite esencial de orégano en dieta y agua de bebida que aporte información sobre la productividad, salud animal y calidad de la carne de pollos de engorda, y genere nuevas hipótesis sobre la trazabilidad de las moléculas del aceite de orégano en la producción de pollos de engorda, sobre todo del orégano Mexicano.

HIPÓTESIS

La suplementación del aceite esencial de orégano en la dieta y agua de bebida tiene un efecto positivo en el comportamiento productivo, inmunidad, perfil sanguíneo y morfología intestinal, así mismo mejora la calidad de la carne aviar.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar el efecto de la suplementación del aceite esencial de orégano (AO) suplementado en dieta y agua de bebida en pollos de engorda.

Objetivos particulares

- Determinar el efecto del aceite de orégano *Lippia berlandieri* Schauer sobre el comportamiento productivo de pollos de engorda.
- Evaluar la influencia del aceite de orégano en la morfología intestinal, respuesta inmune y perfil sanguíneo de los pollos de engorda.
- Evaluar la calidad de la carne de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en dieta y agua de bebida.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la investigación

La fase de experimentación (engorda de pollos) fue realizada en el Campus Marín, Facultad de Agronomía (FA), Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), N.L., México. Marín está localizado en latitud 23° 53', longitud -100° 2' O y altitud de 400 m, con una temperatura que oscila de 18° a 22° C y un rango de anual de precipitaciones de 600 - 800 mm, limitando al norte con Higuera, al sur con Pesquería, al este con Doctor González y al oeste con General Zuazua (INEGI, 2019). Posteriormente, la evaluación de la calidad de la carne se llevó a cabo en el Centro de Investigación y Desarrollo en la Industria Alimentaria (CIDIA) y Laboratorio de Ingeniería, FA, UANL. La necropsia a los pollos fue realizada y se tomaron muestras de intestino delgado, fijándose en paraformaldehído (Sigma-Aldrich) y los intestinos y se incluyeron en parafina para después hacer cortes se éste, con la finalidad de que se hiciera la medición de las vellosidades intestinales (altura, longitud y anchura) de duodeno, yeyuno e íleon, así como la determinación en mucosa digestiva de Inmunoglobulina A IgA por inmunohistoquímica (IHC) y células caliciformes estos procedimientos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Terapéutica Antioxidante, Departamento de Histología, Facultad de Medicina, y en el Laboratorio de Inmunología Veterinaria, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UANL.

Diseño experimental

Un total de 300 pollos Ross-308 no sexados de un día de edad fueron utilizados durante seis semanas. Los pollos se asignaron aleatoriamente en un arreglo de cinco tratamientos, en donde el aceite esencial de orégano (AEO) fue incorporado en la dieta (AODI) y agua de bebida (AOAB) (Tabla 5).

Cada tratamiento constó de 6 corrales (réplicas) con 10 pollos cada uno. El AEO fue adquirido de la empresa Natural Solutions SMI (Cd. Jiménez, Chih., México). La composición del AO fue obtenida por cromatografía de gases (Clarus 600 and MS Clarus SQ8) de acuerdo con el método de Dunford & Silva (2005). En el tratamiento AODI y DIAB, el AEO fue incorporado en el aceite vegetal de la dieta para su mezcla homogénea,

mientras que la adición del AEO de AOAB y DIAB fue realizado emulsionándolo con Tween-20 en una relación 50:50 como lo definió Hernández-Coronado et al. (2019).

Tabla 5. Tratamientos suplementados con aceite de orégano en pollos de engorda.

Tratamientos	Suplementación de aceite de orégano
CON	Control negativo dieta control (sin AO en dieta ni agua)
AODI	Adicción de 200 mg/kg de AO en dieta
AOAB	Adicción de 200 mg/kg de AO en agua de bebida.
DIAB	Adicción de complementada de 200 mg/kg de AO en dieta + 200 mg/kg de AO en agua de bebida.
TWN	Adicción de 200 mg/kg emulsificante Tween20 en agua de bebida.

Dietas y manejo del área de investigación

Una dieta inicial de 1 a 21 días (en tesis) y otra de finalización de 22 a 42 d (Tabla 6) fueron empleadas en la investigación para cubrir los requerimientos nutricionales de los pollos de engorda (NRC, 1994). El alimento y agua fueron proporcionados *ad libitum* durante el experimento. El manejo del área de investigación fue realizado de acuerdo con Silva-Vázquez et al. (2018), con una temperatura de 34 °C el primer día, seguido en 32 °C durante el resto de la primera semana, luego reducido en 3 °C por semana hasta alcanzar 26 °C. La humedad relativa ambiental fluctuó entre 25 y 75 %. La engorda de los pollos fue realizada en una nave convencional con piso de concreto donde en cada corral se colocó aserrín/viruta de madera como piso o cama, un bebedero y un comedero. Antes de iniciar el experimento, los pollos recibieron un día de adaptación. El cuidado y trato de los pollos durante la experimentación fue realizado con los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO (1999) y obteniendo la aprobación del comité de bioética y bienestar animal FMVZ, UANL.

Tabla 6. Dieta inicial (1-21 d) y final (22-42 d) en la engorda de pollos

Ingredientes (g kg ⁻¹)	Dietas	
	Iniciación (1-21 d)	Finalización (22-42 d)
Maíz molido	467.20	556.40
Pasta de Soya (48% PC)	392.20	312.90
Gluten de maíz	53.30	44.40
Pre-mezcla de vitaminas y minerales	11.70	13.30
Carbonato de calcio	14.40	21.40
Fosfato di cálcico	21.30	22.20
Cloruro de sodio	6.00	6.40
Metionina DL-	1.90	0.80
Aceite de canola [®]	32.00	22.20

Comportamiento productivo

El peso inicial de pollos por corral (PI; kg) se determinó al inicio del experimento y en lo sucesivo el peso corporal de los pollos (PP), consumo de alimento [(CA; (consumo de alimento por periodo/n pollos del corral)], consumo de agua [(CAg; consumo de agua por periodo/n pollos del corral)], la ganancia de peso [GP; $(PP_{\text{actual}} - PP_{\text{previo}} - PI) / \text{días}$] y la tasa de conversión alimenticia (TCA; GP/CA) fueron determinados a 21 y 42 d. El alimento ofrecido y rechazado se registró, mientras que el alimento sobrante fue desechado.

Variables de la carne al sacrificio

El proceso de sacrificio fue realizado de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-033-ZOO (2014) y Méndez-Zamora et al. (2015a). Los pollos de cada tratamiento (n = 5 pollos/réplica/tratamiento) fueron sacrificados a los 42 d de edad. Durante este proceso, el peso al sacrificio (PS) y el peso de canal caliente fueron registrados para estimar el rendimiento de canal caliente (RCC); también, el peso de la canal fría fue tomado 24 h *post mortem*, usado para determinar el rendimiento de la canal fría (RCF). Tanto el RCC y RCF fueron estimados en función del PS.

Perfil sanguíneo

Las variables sanguíneas fueron medidas en 6 pollos por tratamiento (n = 1 pollo/réplica). La muestra de sangre se tomó de la arteria carótida, utilizando jeringas de 3 ml (BD Plasticak®) cuando los pollos tenían a los 42 d de iniciado el experimento. En la biometría hemática se evaluaron células como eritrocitos, hemoglobina, heterófilos, linfocitos, monocitos y la hemoglobina media corpuscular), determinados en un analizador bioquímica (KONTROLab, BCvet Hematology Analyzer, Italia).

Morfología del intestino delgado

A los 42 d, los intestinos delgados de seis pollos por tratamiento (n = 6; 1 pollo/réplica/tratamiento) fueron muestreados durante el sacrificio para medir el alto y ancho de las vellosidades del intestino y la profundidad de las criptas. Los tejidos intestinales duodeno, yeyuno, e íleon fueron seccionados transversalmente en rodajas de 1.0 cm y se fijaron en paraformaldehído al 4% en PBS 1X (4% PFA/PBS) durante 72 h para su posterior análisis. Los tejidos fueron procesados mediante la técnica histológica rutinaria, embebidos en parafina y seccionados a 5 μ m para su posterior tinción con hematoxilina y eosina (HE); esto para el análisis histopatológico, las laminillas fueron observadas con un microscopio de luz (Nikon Microscope, Eclipse 50i, New York, E.U.A.) con sistema de análisis de imagen Q Capture Pro. Todas las mediciones se realizaron usando el software de análisis de imágenes Image J versión 1.51 (National Institutes of Health). Los criterios de medición utilizados para este estudio fueron tomando en cuenta las vellosidades basados sobre la presencia de la lámina propia basal intacta (Figura 4).

La altura de las vellosidades fueron medidas de la punta de vellosidad hasta la muscular de la mucosa, se midió en el punto medio vertical de la vellosidad elegida y la profundidad de la cripta fue definida en el punto medio de dos invaginaciones entre de las vellosidades. Tres secciones con 10 campos al azar fueron observadas por cada muestra, expresando las mediciones en micrómetros (μ m).

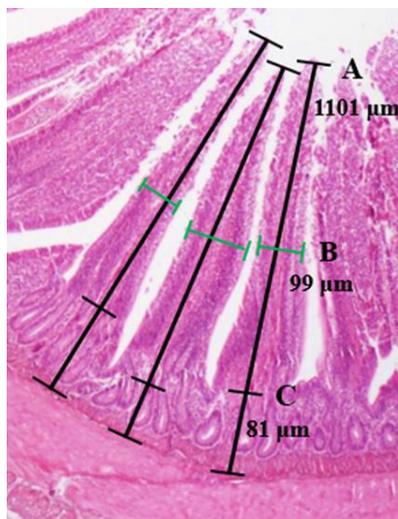


Figura 4. Criterios de medición en las vellosidades del intestino delgado. Puntos de referencia para la medición de lo largo (A) y lo ancho (B) de la vellosidad intestinal y la profundidad de las criptas Lieberkühn (C). Tinción HyE a 10×.

Medición de células caliciformes intestinales

El procedimiento que se utilizó para la medición de las células caliciformes fue la desparafinación y lavado con agua destilada durante 1 min, las muestras intestinales se procesaron con el método de tinción histoquímica de ácido peryódico de Schiff (PAS). Para la reacción de PAS, las muestras fueron sumergidas en una solución ácido peryódico (Sigma-Aldrich Corp., St. Louis, MO) durante 5-10 min a temperatura ambiente. Después de lavar con agua destilada, los tejidos fueron fijadas y sumergidas en solución de Schiff (Sigma-Aldrich) durante 20 min a temperatura ambiente, revisando que tomaran una coloración rosa pálido. Los cortes en la solución “enjuagadora” sulfurosa se diferenciaron en 2 cambios de 2 min c/u. Posteriormente se desechó esta solución y se lavó en agua corriente por 3-5 min y nuevamente un enjuague con agua destilada fue hecho; posteriormente se tiñeron con Hematoxilina por 1-2 min, y otro lavado en agua corriente fue realizado. Las muestras fueron decoloradas ligeramente en alcohol-ácido y fueron lavadas nuevamente con agua corriente. Enseguida, las muestras fueron viradas con agua amoniacal, lavando en agua corriente y enjuagando con agua destilada, deshidratadas en concentraciones descendentes de alcohol graduales hasta absoluto. Finalmente, las laminillas fueron aclaradas con xilol y montadas en resina. Las muestras fueron observadas y analizadas en un microscopio de luz. Un total de 10 vellosidades por

laminilla se observaron de forma aleatoria de cada sección del intestino para los análisis y determinaciones. Las células caliciformes se identificaron y fotografiaron en un microscopio (Nikon Microscope, Eclipse 50i, New York, E.U.A.) de luz empleando el objetivo 10x. Así mismo, las células caliciformes se contabilizaron empleando un procesador de imágenes (Image J versión 1.51).

Determinación de sIgA intestinal

La expresión de sIgA en las muestras de tejido intestinal fueron realizados mediante análisis inmunohistoquímico, determinada en seis muestras por tratamiento (n = 6; 1 pollo (contenido cecal)/réplica/tratamiento) de acuerdo con Rodriguez-Ramirez et al. (2018). Las laminillas con las secciones histológicas (4 µm) de íleon fueron preparadas para inmunohistoquímica (IHC) utilizando el siguiente protocolo: las muestras se rehidrataron disminuyendo la concentración de etanol de 100% hasta 30%, finalizando en agua destilada durante 5 min cada uno. La recuperación del antígeno se realizó con buffer citrato (10 Mm de ácido cítrico, 0.5% de tween 20) a 80 °C por 80 min; posteriormente las laminillas se dejaron enfriar.

Las secciones fueron bloqueadas con peróxido de hidrógeno al 3% para peroxidasa endógena y suero de caballo para el bloqueo de sitios no específicos. Los portaobjetos se incubaron durante la noche a 4 °C con un anticuerpo primario (goat anti-chicken IgA antibody; 1:200, Bethyl Laboratories, Seoul, Korea). Al día siguiente, las laminillas fueron enjuagadas dos veces con solución salina tamponada con TBST Tween 20, y pH 7.6 por 20 min. Las muestras fueron incubadas durante 30 min a temperatura ambiente con el anticuerpo secundario (mouse anti-goat IgG conjugated HRP;1:500, Sigma, St. Louis, MO) siguiendo las instrucciones del fabricante. Las laminillas se lavaron y se contrastaron con hematoxilina, para finalmente ser montadas en resina. Como control negativo, el anticuerpo primario fue omitido. Las células positivas para sIgA fueron contadas por separado en secciones seriadas mediante el programa de análisis Image J (versión 1.51).

Evaluación de la calidad de la carne de la pechuga de pollo

Variables fisicoquímicas

El pH y capacidad de retención de agua (CRA) de la carne de las pechugas fueron determinados por duplicado en ambos lados de la pechuga, en 12 muestras por tratamiento (n = 24; 2 pechugas/replica/tratamiento), medido con un electrodo de punción (Orion 3 star ThermoFisher Scientific, Pittsburgh, PA, U.S.A.).

La capacidad de retención de agua (CRA) fue obtenida de acuerdo con la técnica descrita por Tsai y Ockerman (1981) y Méndez Zamora et al. (2015b). Aproximadamente 0.3 ± 0.1 g de pechuga fueron colocados entre dos papeles filtro y puestos entre dos placas plexiglás de acrílico (12 x 12 cm), aplicando una fuerza de 4.0 kg durante 20 min. En efecto los líquidos liberados fueron impregnados en el papel, considerados como agua libre del músculo. El peso inicial (Pi) y final (Pf) de la muestra fueron registrados para determinar la CRA con la fórmula $CRA = 100 - [(Pi - Pf)/Pi] \times 100$.

Los parámetros de color luminosidad (L*), tendencia al color rojo (a*), tendencia al amarillo (b*), Chroma (índice de saturación) y ángulo Hue (tonalidad) fueron determinados sobre la superficie externa de las piezas por duplicado en 12 muestras por tratamiento (n = 24; 2 pechugas/replica/tratamiento) con un colorímetro (CR-400 Konica Minolta®, Tokyo, Japón), basado en el sistema CIE Lab (CIE, 1996). El equipo fue calibrado antes de ser usado en las mediciones.

Pérdida por cocción y análisis de textura

La preparación de las pechugas para la realización de la pérdida por cocción (PCc; n = 12; 2 pechugas/réplica/tratamiento) y el análisis de textura (fuerza de corte y perfil de textura; n = 24; 2 réplicas-cada lado de la pechuga/ tratamiento) fue realizada de acuerdo con Sánchez-Zamora et al. (2019). Las pechugas deshuesadas fueron empacadas al vacío y cocidas en agua caliente a 75.0 ± 0.1 °C durante 1 h. Después, las muestras fueron enfriadas en agua a 4 °C por 20 min, y enseguida las muestras se almacenaron en refrigeración durante 12 h para su análisis. El peso fresco y cocido de cada pechuga fueron registrados para evaluar la PCc [% PCc = ((peso pieza fresca - peso pieza cocida) / peso pieza fresca) * 100].

La fuerza de corte (FzaCte; g) y el análisis de perfil de textura (APT) fueron realizados en un analizador de textura (TA.XT.Plus, Stable Micro Systems Serrey, England). La FC fue realizada con una navaja Warner-Bratzler con una sección triangular invertida, y piezas rectangulares de 1 cm ancho x 1 cm alto x 3.5 cm largo fueron estandarizadas para esta prueba. Las condiciones de prueba usadas en el instrumento fueron velocidad pre-prueba 2 mm s^{-1} , durante la prueba 2 mm s^{-1} y post-prueba 10 mm s^{-1} , y una distancia de 15 mm. El valor de FC fue tomado del punto máximo de la curva obtenida con la prueba. El APT fue llevado a cabo en cilindros obtenidos con un sacabocados, estandarizados en 2.5 cm de diámetro y 1.5 cm de altura. Un pistón cilíndrico (75 mm en diámetro) fue usado para comprimir la muestra en dos ciclos, comprimiéndola 60% de su altura original con un tiempo establecido de 5 s entre los ciclos. Curvas de deformación fuerza-tiempo fueron obtenidas en la prueba, estableciendo velocidades de 2.0 mm s^{-1} pre-prueba, 5.0 mm s^{-1} en prueba y 5.0 mm s^{-1} post-prueba. Los siguientes parámetros fueron obtenidos de acuerdo con Bourne (1978): dureza (g), adhesividad (g/s), elasticidad (mm), cohesividad (adimensional), gomosidad (g), masticabilidad (g mm) y resistencia (adimensional).

Evaluación sensorial

Una prueba sensorial afectiva por atributos (Anzaldúa-Morales, 1994; Meilgaard et al., 2006) fue realizada para determinar el grado de satisfacción de 50 consumidores. Cada consumidor recibió cuatro cubos de 1.5 cm por lado en $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$, colocados en vasos de plástico codificados con tres números al azar. Los atributos evaluados fueron: olor, sabor, jugosidad, suavidad y aceptabilidad global. Una escala hedónica de siete puntos fue usada en esta prueba, donde 7 = me gusta mucho y 1 = me disgusta mucho.

Análisis estadístico de los datos

Los datos obtenidos de las variables productivas fueron analizados con el procedimiento MIXED de SAS (2006) usando el siguiente modelo estadístico (Wang & Goonewardene, 2004): $y_{ijk} = \mu + T_i + \delta_j + (T\delta)_{ij} + \Phi_{k(ij)} + \lambda + \epsilon_{ijk}$; dónde: y_{ijk} = variables productivas medidas durante el experimento a través del tiempo; μ = media general; T_i = efecto del i-esimo tratamiento (CON, AODI, AOAB, DIAB y TWN); δ_j = efecto del j-esimo día de engorda (21 y 42 d); $(T\delta)_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i-esimo tratamiento y el j-

esimo día; $\Phi_{k(ij)}$ = efecto del i -esimo tratamiento anidado en cada corral donde el pollo estuvo durante el i -esimo día de engorda; λ = efecto de la covariable PI; ϵ_{ijk} = error aleatorio distribuido en forma normal con media cero y varianza σ^2 [$\epsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$].

Los datos de morfología intestinal y células caliciformes fueron analizadas con un análisis de varianza usando el modelo lineal general (GLM; SAS, 2006) y el siguiente modelo estadístico $y_{ij} = \mu + T_i + S_j + \epsilon_{ij}$; dónde: y_{ij} = variables respuesta; μ = media general; T_i = efecto del i -esimo tratamiento; S_j = efecto del i -esima sección intestinal; ϵ_{ijk} = error aleatorio distribuido en forma normal con media y varianza [$\epsilon_{ij} \sim N(\mu, \sigma^2)$].

Las variables de sacrificio, sangre y calidad de la carne fueron analizadas con un análisis de varianza usando el modelo lineal general (GLM; SAS, 2006) y el siguiente modelo estadístico $y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$; dónde: y_{ij} = variables respuesta; μ = media general; T_i = efecto del i -esimo tratamiento ϵ_{ijk} = error aleatorio distribuido en forma normal con media y varianza [$\epsilon_{ij} \sim N(\mu, \sigma^2)$]. En el análisis sensorial, el modelo estadístico tuvo el efecto del bloque (consumidor).

Para todos los casos, un nivel de significancia de 0.05 fue utilizado para encontrar diferencia significativa entre los tratamientos, días e interacción ($P < 0.05$). Cuando existió efecto de los factores fijos y la interacción (rechazo de H_0) en los modelos estadísticos correspondientes, las medias fueron comparadas con la prueba estadística Tukey a 0.05 de significancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento Productivo

Los efectos estadísticos del comportamiento productivo de los pollos de engorda con la suplementación de (AEO) son presentados en la Tabla 7. La variable tiempo tuvo un efecto significativo ($P < 0.05$) sobre peso pollos (PP), consumo alimento (CAL) y agua (CAG), ganancia de peso semanal (GPS) y eficiencia alimenticia (EA). Contrariamente, el efecto de tratamientos y la interacción tratamiento-tiempo no influyeron significativamente ($P > 0.05$) sobre estas variables. Diversas investigaciones han evaluado y obtenido efecto estadístico en PP y GPS con la utilización de AO en 400 (Méndez Zamora et al., 2017), 200, 400, 600, 800 y 1000 mg kg⁻¹ (Cázares-Gallegos et al., 2019) en la dieta, así como el efecto de 400 mg L⁻¹ de AEO en agua de bebida (Hernández-Coronado et al., 2019). Adicionalmente, la suplementación de 5.0 g kg⁻¹ inulina de agave y 0.2 g kg⁻¹ de AO presentaron diferencias estadísticas en PP con valores mayores en sus tratamientos (Sánchez-Zamora et al., 2019).

Tabla 7. Valores de probabilidad de los parámetros del modelo sobre el comportamiento productivo de los pollos de engorda suplementados con aceite de orégano.

Variables (y) ¹	P-values ²				EEM
	Tratamiento (T _i)	Día (δ _j)	Interacción (Tδ) _{ij}	(T _i ; 2-41 d)	
PP (kg)	0.2486	<0.0001	0.9461	-	0.0397
CAL (kg)	0.6169	<0.0001	0.8492	0.6291	0.0967
CAG (kg)	0.2377	<0.0001	0.8685	0.2368	0.1814
GPS (kg)	0.644	<0.0001	0.4248	0.5022	0.0112
EA	0.4905	<0.0001	0.7377	0.4827	0.0724

¹ PP = peso pollo; CAL = consumo alimento; CAG = consumo agua; GPS = ganancia de peso semanal; EA = eficiencia alimenticia; EEM = error estándar de la media.

La Tabla 8 muestra los parámetros productivos de pollos de engorda en 41 d, donde PP y CAG fueron diferentes ($P < 0.05$) entre los tratamientos en 21 d. El grupo CON fue el más alto en PP y CAG, pero AOAB fue más bajo en PP y AODI en CAG. El tratamiento DIAB no resultó diferente ($P > 0.05$) estadísticamente de grupo control en estas variables. Sánchez-Zamora et al. (2019) obtuvo un mayor PP, atribuyendo estos resultados a una mejora en la salud intestinal debido a una mayor absorción de nutrientes al utilizar 0.2 g kg^{-1} de aceite de orégano mexicano.

Tabla 8. Influencia del aceite de orégano en el comportamiento productivo de pollos de engorda en 41 días.

Variables (kg) ²	Tratamientos ¹					
	Días	CON	AODI	AOAB	DIAB	TWN
PP	2	0.0489	0.0483	0.0488	0.0493	0.0490
	2-21	0.7415 ^a	0.6677 ^{ab}	0.6322 ^b	0.6581 ^{ab}	0.6804 ^{ab}
	22-41	2.0240 ^a	1.9273 ^a	1.9228 ^a	1.9611 ^a	1.9841 ^a
CAL	2-21	1.1826 ^a	1.1038 ^a	1.1341 ^a	1.1435 ^a	1.1431 ^a
	22-41	2.5873 ^a	2.3554 ^a	2.5085 ^a	2.4074 ^a	2.3936 ^a
	2-41	3.7698	3.4592	3.6425	3.5509	3.5367
CAG	2-21	2.7452 ^a	2.3428 ^b	2.5048 ^{ab}	2.4131 ^{ab}	2.4575 ^{ab}
	22-41	6.5083 ^a	6.0885 ^a	5.9996 ^a	6.0462 ^a	5.9989 ^a
	2-41	9.2534	8.4312	8.5044	8.4592	8.4563

¹CON = dieta control (sin AO en dieta ni agua); AODI = 200 mg/kg de AO en dieta; AOAB = 200 mg/kg de AO en agua de bebida; DIAB = 200 mg/kg de AO en dieta + 200 mg/kg de AO en agua de bebida; TWN = 200 mg/kg emulsificante Tween20 en agua de bebida.

²PP = peso pollo; CAL = consumo alimento; CAG = consumo agua.

^{a-b} Medias (n = 6 corrales por tratamiento con 10 pollos cada uno) en filas y con diferente superíndice son diferentes significativamente ($P < 0.05$).

Los resultados del presente estudio mostraron que el AEO en dieta o en agua de bebida mejora el comportamiento productivo porque en el CAL no se encontraron diferencias

estadísticas y sus valores fueron menores al tratamiento CON. Este resultado puede atribuirse también al nivel de AEO usado (200 mg/kg) para beneficiar la absorción de nutrimentos en el intestino.

En 41 d y en el periodo global (2-41 d) estas variables no fueron diferentes ($P > 0.05$) entre los tratamientos (Tabla 8). Similares resultados fueron presentados en la investigación de Nahed et al. (2020) al evaluar producto comercial de aceite esenciales que contenía aceite de orégano (50 g), carvacrol (10 g), aceite de tomillo (33.33 g), aceite de eucalipto (50 g), timol (5 g) y eucaliptol (10 g), argumentando que este efecto puede ser relacionado a las variaciones de dosis, componentes activos de los AE, el período de administración y los factores ambientales y nutricionales. En este estudio con AEO en dieta y agua de bebida puede indicarse que el medio de administración del aceite es indiferente sobre la producción, es decir sin influir en la digestión y absorción de nutrientes.

El estudio de Chowdhury et al. (2018) con aceites esenciales de canela, clavo y ajwain obtuvieron diferencias significativas en GPS, PP y EA en 21 d al utilizar 400 mg kg⁻¹ en dieta de aceite de clavo, atribuyendo sus resultados a las dosis usadas. Oso et al. (2019) argumentaron que un efecto en el comportamiento productivo es debido a los compuestos bioactivos de los aditivos fitogénicos, los cuales ejercieron un efecto antimicrobiano, estimulando probablemente secreciones endógenas y digestivas de nutrientes.

Por otra parte, Silva-Vázquez et al. (2018) y Cázares-Gallegos et al. (2019) encontraron diferencias en PP cuando evaluaron 400 mg kg⁻¹ de AO en dieta. Adaszyńska-Skwirzyńska et al. (2018) no encontraron diferencia al utilizar 0.4 ml/L aceite esencial de lavanda en agua de bebida. El CAG en los tratamientos DIAB y TWN fue contrario a Cázares-Gallegos et al. (2019) y Hernández-Coronado et al. (2019), quienes encontraron diferencias significativas al día 28 y días 1-40, respectivamente.

La ganancia de peso semanal (GPS) fue diferente ($P < 0.05$) en el periodo de engorda 2-21 d (Tabla 9); esta variable no resultó afectada estadísticamente en los periodos 22-41d y global 2-41 d ($P > 0.05$). La GPS tuvo el valor más alto en CON y el más bajo en AOAB. Similares resultados presentaron Silva-Vázquez et al. (2018) y Moraes et al. (2019) a los 21 d. Esto es debido a los compuestos de las hierbas agregadas mitigan la inmunosupresión, es decir mejora el sistema inmune, al beneficiar el equilibrio de las

poblaciones microbianas intestinales benéficas que aumentan durante la primera semana de vida (Giannenas et al., 2019); por lo tanto, la asimilación de los nutrientes es reducida y la ganancia de peso disminuye en el ciclo final de la engorda de los pollos. Lo anterior podría explicar porque el tratamiento AOAB fue el de menor ganancia de peso al final de la engorda de los pollos. En el caso de la mejor GPS de CON puede deberse a la actividad enzimática digestiva normal; el que AODI y DIAB no resultaran diferentes de CON puede deberse a que los AE aumentan la actividad de lipasa, tripsina y quimotripsina del intestino delgado, durante el periodo de crecimiento, obteniendo un mejor digestión y absorción de nutrientes (Yang et al., 2018).

Tabla 9. Eficiencia productiva en pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en 41 días.

Variables ²	Días	Tratamientos ¹				
		CON	AODI	AOAB	DIAB	TWN
GPS (kg)	2-21	0.2309 ^a	0.2062 ^{ab}	0.1944 ^b	0.2032 ^{ab}	0.2105 ^{ab}
	22-41	0.4271 ^a	0.4230 ^a	0.4307 ^a	0.4321 ^a	0.4337 ^a
	2-41	0.3371	0.3227	0.3206	0.3257	0.3302
EA	2-21	1.6033 ^a	1.6854 ^a	1.8027 ^a	1.7351 ^a	1.6734 ^a
	22-41	1.2751 ^a	1.2237 ^a	1.3032 ^a	1.2274 ^a	1.2055 ^a
	2-41	1.4391	1.4545	1.5529	1.4812	1.4394

¹CON = dieta control (sin AO en dieta ni agua); AODI = 200 mg/kg de AO en dieta; AOAB = 200 mg/kg de AO en agua de bebida; DIAB = 200 mg/kg de AO en dieta + 200 mg/kg de AO en agua de bebida; TWN = 200 mg/kg emulsificante Tween20 en agua de bebida.

²GPS=ganancia peso semanal; EA = eficiencia alimenticia. ^{a-b} Medias (n = 6 corrales por tratamiento con 10 pollos cada uno) en filas y con diferente superíndice son diferentes significativamente (P < 0.05).

Por otra parte, la EA no presentó diferencia significativa (P > 0.05) en ningún periodo (Tabla 9), pero AOAB obtuvo el mayor valor de 2-41 d. Este resultado está de acuerdo

con la investigación de Barbarestani et al. (2020) utilizando 300 y 600 mg/kg de aceite esencial de lavanda en dieta, al no encontrar efecto en el periodo 2- 21d; sin embargo, estos autores obtuvieron una notable disminución de EA con 600 mg/kg de aceite esencial de lavanda, similar con el tratamiento AODI. Betancourt et al. (2019) y Eler et al. (2019) no encontraron diferencia en EA, atribuyendo estos resultados a los principales componentes del AO (timol y carvacrol), ya que pueden tener un impacto en las poblaciones microbianas y aumentar la absorción de nutrientes, sugiriendo que un efecto positivo de los AE mejoraría bajo condiciones ambientales poco higiénicas o cuando se utiliza una dieta menos digestible. De esta forma, el AEO puede dañar la membrana celular de las bacterias, causando pérdida de macromoléculas biológicas en la célula, inhibiendo la actividad enzimática intracelular, lo que afecta el metabolismo fisiológico normal de las células bacterianas (Cui et al., 2019). Los principales componentes del AEO, tienen una actividad inhibitoria contra las bacterias; timol afecta a *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella typhimurium*, mientras que el carvacrol es eficaz contra bacterias patógenas como *S. typhimurium*, *E. coli*, *L. monocytogenes* y *Bacillus cereus* (Moraes-Lovison et al., 2017).

La Tabla 10 presenta las variables al sacrificio determinadas en los pollos de engorda suplementados con aceite de orégano a 42 d. La variable RPCH fue diferente ($P < 0.05$) entre los tratamientos evaluados, donde CON obtuvo el mayor valor y AOAB el menor valor. Por otra parte, PS, RCC y RCF no fueron diferentes estadísticamente ($P > 0.05$) entre los tratamientos. Similares resultados fueron obtenidos por Abdel-Wareth et al. (2019) al no encontrar efecto sobre las características de canal, usando 26, 52 y 78 mg/kg de aceite esencial de mentol en pollos de engorda experimentados durante 35 d.

Particularmente, Cázares-Gallegos et al. (2019) y Sánchez-Zamora et al. (2019) obtuvieron resultados contrarios en RCC y RCF, ya que encontraron diferencias estadísticas entre sus tratamientos y porque obtuvieron valores más bajos en PS y RPCH; esta contradicción puede ser por la dosis utilizada (200 vs 400 mg/kg AO), que posiblemente mejoraron la digestibilidad y la absorción de los nutrientes, reflejándose en una mejor síntesis de las fibras musculares (miofibrillas), lo que provocaría cambios en el rendimiento de las piezas de pollo. Por otra parte, Hernández-Coronado et al. (2019) obtuvieron rendimientos similares en RPCH en comparación con los tratamientos AOAB

y DIAB de la presente investigación, donde no se obtuvieron diferencias estadísticas en RCC y RCF. Las variaciones obtenidas pueden ser atribuidas al medio y forma de suplementación del AO; ya que el tratamiento DIAB incrementó las variables PS y RCF en contraste con los tratamientos CON y TWN. Es importante destacar que si el AEO es administrado en dieta y agua de bebida mejoran las variables de sacrificio.

Tabla 10. Influencia del aceite de orégano suplementado en dietas sobre la producción de carne de pollos de engorda.

Tratamientos ¹	Variables (%) ²			
	PS (kg)	RCC	RCF	RPCH
CON	2.13 ^a	70.65 ^a	70.40 ^a	26.03 ^a
AODI	2.05 ^a	71.08 ^a	70.29 ^a	25.17 ^{ab}
AOAB	2.09 ^a	70.44 ^a	69.80 ^a	24.77 ^b
DIAB	2.12 ^a	70.52 ^a	70.31 ^a	24.99 ^{ab}
TWN	2.11 ^a	70.46 ^a	70.27 ^a	25.53 ^{ab}
EEM	0.0393	0.2988	0.3395	0.3053
P-value	0.5315	0.5148	0.7371	0.0397

¹CON = dieta control (sin AO en dieta ni agua), AODI = 200 mg/kg de AO en dieta, AOAB = 200 mg/kg de AO en agua de bebida, DIAB = 200 mg/kg de AO en dieta + 200 mg/kg de AO en agua de bebida y, Tween20 (TWN) = 200 mg/kg como emulsificante en el agua de bebida.; EEM = error estándar de las medias.

²PS = peso sacrificio; RCC = rendimiento canal caliente; RCF = rendimiento canal fría; RPCH = rendimiento pechuga.

^{a-b} Medias (n = 30; 5 pollos por réplica de cada tratamiento) en columnas y con diferente superíndice son diferentes significativamente (P<0.05).

Perfil sanguíneo

En la biometría hemática y frotis sanguíneo de los pollos suplementados con aceite de orégano, las variables CGB (conteo de glóbulos blancos), L/M (linfocitos/monocitos) y %

L/M obtuvieron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre los tratamientos (Tabla 11). El CGB fue más alto para DIAB (200 mg/kg AO en dieta y agua de bebida) y más bajo en CON. Las variables L/M y % L/M fueron las más altas para TWN y las más bajas en CON. En cuanto a CGB, puede dar indicios que al suplementar AEO en DI y AB, podría ser negativo fisiológicamente, debido a que los perfiles de células sanguíneas (glóbulos blancos y linfocitos) aumentan en respuesta de una infección o estrés como una defensa en el cuerpo (Park et al., 2018), y además pueden indicar el estado fisiológico y nutricional de un animal. Similares resultados presentaron Méndez-Zamora et al. (2017) y Silva-Vázquez et al. (2018) al utilizar 0.40 g de AO/kg y 0.40 g de LBS (*Lippia berlandieri* Schauer)/kg + 0.40 g de PLG (*Poliomintha longiflora* Gray)/kg en dieta, obteniendo un incremento del CGB y linfocitos, atribuyendo estos resultados a los principales componentes del AO (PLG - 28.49% timol y LBS - 60.02% carvacrol), que demuestran su influencia sobre la fisiología y el metabolismo del pollo de engorda, al ser solo suplementadas en dieta y sus valores estar dentro de los rangos normales. En cuanto a L/M, coincide con la investigación de Upadhaya et al. (2019) al no encontrar algún efecto significativo utilizando una mezcla de aceites esenciales a base de timol, eugenol y piperina + vitamina D₃. En el presente estudio, el tratamiento TWN influyó sobre L/M del perfil hematológico al aumentar en esta variable; sin embargo, no se puede hacer una comparación este hallazgo debido a la escasa información donde hayan estudiado un emulsificante.

Por otra parte, en el frotis sanguíneo, los heterófilos (%) fueron más altos para DIAB (200 mg/kg AO en dieta y agua de bebida) y más bajo en AODI. En contraste, linfocitos (%) presentó el valor más alto en AOAB (200 mg/kg AO en agua de bebida) y TWN el más bajo. Basófilos (%) fue más alto en AODI (200 mg/kg AO en agua en dieta) y más bajo en TWN. Eler et al. (2019) encontraron un aumento significativo en linfocitos (%) y heterófilos (%) con 300 y 600 mg/kg de AO en dieta en comparación con los tratamientos sin adición de AO; estos autores señalaron que la suplementación con orégano aumenta los niveles de estos anticuerpos y puede potencializar el sistema inmune. Por último, los eosinófilos (%) fueron mayores en el tratamiento AODI, mientras que los tratamientos AOAB y DIAB obtuvieron los menores valores.

Tabla 11. Biometría hemática y frotis sanguíneo de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en dieta y agua de bebida a los 42 d.

Variables/análisis sanguíneo ¹	Tratamientos ²					EEM ³	P-values
	CON	AODI	AOAB	DIAB	TWN		
Biometría hemática							
HCT (%)	32.40 ^a	31.40 ^a	31.83 ^a	32.23 ^a	33.05 ^a	0.95	0.850
HGB (g/dL)	10.10 ^a	9.90 ^a	10.26 ^a	10.38 ^a	10.85 ^a	0.40	0.600
MCHC (g/dL)	31.18 ^a	32.30 ^a	32.20 ^a	32.13 ^a	32.83 ^a	0.60	0.532
CGB (K/ μ l)	27.73 ^{ab}	37.00 ^{ab}	12.80 ^b	72.20 ^a	71.20 ^a	8.66	0.006
GRANS (K/ μ l)	12.83 ^a	33.30 ^a	9.15 ^a	46.30 ^a	25.05 ^a	9.04	0.055
% GRANS	45.90 ^a	77.66 ^a	75.70 ^a	65.70 ^a	43.92 ^a	12.51	0.351
L/M(x10 ⁹ /L)	1.03 ^b	3.74 ^{ab}	1.82 ^{ab}	4.10 ^a	4.66 ^a	0.65	< 0.004
%L/M	4.17 ^b	22.40 ^b	24.20 ^{ab}	17.80 ^b	56.00 ^a	7.51	< 0.002
PLT (K/ μ l)	140.00 ^a	571.00 ^a	547.00 ^a	210.30 ^a	310.00 ^a	128.34	0.080
Frotis sanguíneo							
Heterófilos (%)	55.67 ^{ab}	34.17 ^b	40.17 ^{ab}	57.83 ^a	56.83 ^a	4.78	< 0.011
Monocitos (%)	8.50 ^a	17.17 ^a	16.50 ^a	12.67 ^a	17.00 ^a	2.63	0.139
Linfocitos (%)	26.67 ^b	41.00 ^a	41.83 ^a	28.83 ^b	25.67 ^b	3.71	0.010
Basófilos (%)	3.50 ^{ab}	4.66 ^a	1.00 ^b	0.33 ^b	0.00 ^b	0.65	< 0.002
Eosinófilos (%)	3.00 ^a	3.16 ^a	0.50 ^b	0.50 ^b	0.83 ^{ab}	0.66	0.050
Plaquetas (/Campo)	2.75 ^a	3.95 ^a	4.16 ^a	3.33 ^a	4.66 ^a	0.47	0.101

¹ HCT = hematocrito, HGB = hemoglobina, MCHC = concentración de hemoglobina por glóbulo rojo, CGB = conteo de glóbulos blancos, GRANS = granulocitos, PLT = recuento de plaquetas, L/M = linfocitos/monocitos.

² CON = dieta control (sin AO en dieta ni agua); AODI = 200 mg/kg de AO en dieta; AOAB = 200 mg/kg de AO en agua de bebida; DIAB = 200 mg/kg de AO en dieta + 200 mg/kg de AO en agua de bebida; TWN = 200 mg/kg emulsificante Tween20 en agua de bebida.

³ EEM = error estándar de la media.

^{a-b} Medias (n = 30 análisis; 6 réplicas por tratamiento) en filas y con diferente superíndice son diferentes significativamente (P < 0.05).

Así mismo, incrementos de eosinófilos (%) fueron reportados por Witkowska et al. (2019) a los 42 d con 0.5 L de aceite esencial de *Mentha piperita*, atribuyendo que este AE podría afectar positivamente el sistema inmune de los pollos de engorda, aunque podría indicarse este incremento por efecto del tween 20 en el estado inmune de los pollos de engorda. Las variables HCT, HGB, MCHC, GRANS, % GRANS, monocitos y plaquetas no mostraron diferencias estadísticas ($P > 0.05$) entre los tratamientos.

Morfología del intestino delgado

La morfología intestinal de los pollos de engorda suplementados con AEO es mostrada en la Tabla 12. La morfometría intestinal fue diferente estadísticamente ($P < 0.05$) entre los tratamientos, aunque solo en la profundidad de las criptas (PC) del íleon fue similar ($P > 0.05$) con los grupos experimentales (Figuras 5, 6, 7, 8 y 9). En duodeno, las variables largo (LV) y ancho de vellosidad (AV) fueron más altas en AODI y más bajas en CON. La PC fue más alta en AODI y más baja en TWN, mientras que la relación entre LV y PC (L/P) fueron mayores en TWN y menores en CON. Estos resultados mostraron que el AEO suplementado en la dieta estimula el crecimiento de las vellosidades intestinales.

En yeyuno, la LV fue más alta en TWN y más bajo para AODI. El AV fue mayor en AOAB y menor en AODI. La PC fue más alta en TWN y más baja CON. Por el contrario, la relación L/P fue más alta en CON y más baja en AODI. Por último, en íleon la LV fue mayor para CON y menor para AOAB. AV fue la más alta en DIAB y más baja en TWN. La L/P fue más alta en CON y más baja en AOAB.

La morfología del intestino es un factor importante de la salud e integridad intestinal; en efecto, la altura de las vellosidades intestinales, la profundidad de la cripta y su relación influyen en la digestión y absorción de nutrientes (Zhang et al., 2019). De acuerdo con esto, en el presente estudio, el aumento de las variables LV, PC, AV y LP en el duodeno con AODI fue similar a la investigación de Barbarestani et al. (2020) al utilizar 300 y 600 mg/kg de aceite esencial de lavanda (AEL); esos autores indicaron que los resultados son debidos a la efectividad antioxidante del AEL y evita mejora la morfología intestinal mejorando la eficiencia alimenticia. En esta investigación con 200 mg/kg de AEO también la mejora de la morfología intestinal es debida a su capacidad antioxidante, principalmente del carvacrol y el timol.

Tabla 12. Morfología del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en 42 d.

Sección intestinal (μm) ¹	Tratamientos ²					EEM ³	P-values
	CON	AODI	AOAB	DIAB	TWN		
Duodeno							
LV	1239.60 ^d	1539.80 ^a	1483.20 ^b	1435.70 ^b	1332.10 ^c	11.73	< 0.001
AV	120.03 ^c	154.80 ^a	145.77 ^a	151.80 ^a	133.27 ^b	2.26	< 0.001
PC	126.40 ^{bc}	145.23 ^a	141.50 ^a	135.73 ^{ab}	124.67 ^c	2.51	< 0.001
L/P	9.86 ^b	10.79 ^a	10.63 ^{ab}	10.62 ^{ab}	10.74 ^a	0.2	0.013
Yeyuno							
LV	1150.70 ^b	1041.80 ^c	1128.50 ^b	1067.30 ^c	1248.50 ^a	12.53	< 0.001
AV	111.07 ^{bc}	109.33 ^c	122.50 ^a	117.67 ^{ab}	120.40 ^a	2.09	< 0.001
PC	96.30 ^b	102.43 ^{ab}	98.50 ^b	104.43 ^{ab}	108.67 ^a	2.13	< 0.001
L/P	12.08 ^a	10.30 ^b	11.59 ^a	10.32 ^b	11.64 ^a	0.26	< 0.001
Íleon							
LV	1138.60 ^a	1042.20 ^b	676.87 ^e	988.30 ^c	939.00 ^d	11.12	< 0.001
AV	110.10 ^a	99.40 ^b	119.47 ^a	119.63 ^a	95.87 ^b	2.54	< 0.001
PC	97.00 ^a	100.50 ^a	100.60 ^a	103.57 ^a	94.47 ^a	2.72	0.166
L/P	11.88 ^a	10.68 ^b	6.88 ^c	9.73 ^b	10.12 ^b	0.25	< 0.001

¹ LV = largo de vellosidad; AV = ancho de vellosidad; PC = profundidad de cripta; L/P = relación entre la largo de las vellosidades y profundidad de la cripta.

² CON = dieta control (sin AO en dieta ni agua); AODI = 200 mg/kg de AO en dieta; AOAB = 200 mg/kg de AO en agua de bebida; DIAB = 200 mg/kg de AO en dieta + 200 mg/kg de AO en agua de bebida; TWN = 200 mg/kg emulsificante Tween20 en agua de bebida.

³ EEM = error estándar de la media.

^{a-b} Medias (n = 30 secciones; 3 réplicas por sección de cada tratamiento) en filas y con diferente superíndice son diferentes significativamente (P < 0.05).

El aumento de las variables del duodeno es atribuible y relacionado a las propiedades antioxidantes del AO mencionado por Silva-Vázquez et al. (2017). En consecuencia,

durante los procesos digestivos existe liberación de radicales de oxígeno que pueden dañar la mucosa intestinal. Por lo tanto, las sustancias bioactivas de los AE, en las que predominan flavonoides, terpenoides y compuestos fenólicos, las enzimas antioxidantes como catalasa y superóxido dismutasa pueden atraer los radicales de oxígeno, de esta forma los AE pueden proteger las vellosidades de daño oxidativo al estimular la actividad de estas enzimas antioxidantes y atraer los radicales de oxígeno y el grupo fenólico de las AE puede donar hidrógeno haciéndolo antioxidante (Chowdhury et al., 2018b).

No obstante, este efecto no se obtuvo en las variables evaluadas del yeyuno, donde el tratamiento TWN presentó los efectos más altos de los tratamientos. Van der Aar et al. (2017) describieron el efecto de los emulsificantes en el tracto gastrointestinal para propiciar la formación de micelas y la digestibilidad de las grasas; sin embargo, al presentar diversas variaciones en la composición de grasas en la dieta, no podrían mejorar la digestibilidad, concluyendo que los emulsificantes no tienen un efecto positivo como aditivo en la producción avícola. Es posible que el TWN en este estudio beneficie la absorción de carbohidratos y grasas, provocando una mayor deposición en el cuerpo del pollo. En contraste, Yan et al. (2019) no obtuvieron un aumento en las variables de morfología en yeyuno cuando estudiaron fitonutrientes (5% de carvacrol, 3% de cinamaldehído y 2% de capsaicina). En el íleon, la efectividad del tratamiento DIAB fue en AV y PC; esto indicó que en las criptas más profundas la proliferación de las células epiteliales mejora reestructurándose más rápido debido al crecimiento acelerado y consecuentemente la capacidad de absorción en el intestino (Zeng et al., 2015).

Bauer et al. (2019) no encontraron diferencias en largo y ancho de las vellosidades del íleon cuando evaluaron 2% de orégano en polvo en la dieta; sin embargo, estos autores obtuvieron un incremento de la relación entre la altura de las vellosidades y la profundidad de la cripta. Particularmente, Oso et al. (2019) obtuvieron decrementos en íleon al utilizar 1% de una mezcla fitogénica (*Cynodon dactylon*, *Aerva lanata* y *Piper nigrum*), debido a la mejora del transporte de nutrientes para beneficiar el crecimiento y eficiencia a este nivel de inclusión. En el presente estudio, las variables morfológicas fueron influenciadas por AODI en duodeno, AOAB en yeyuno y DIAB en íleon comparadas con el CON, esto indicó que la adicción de 200 mg/kg de AEO mejora la funcionalidad de la morfología

intestinal, es decir mejora la capacidad de absorción de nutrientes cuando este aditivo natural es usado en la alimentación de los pollos de engorda.

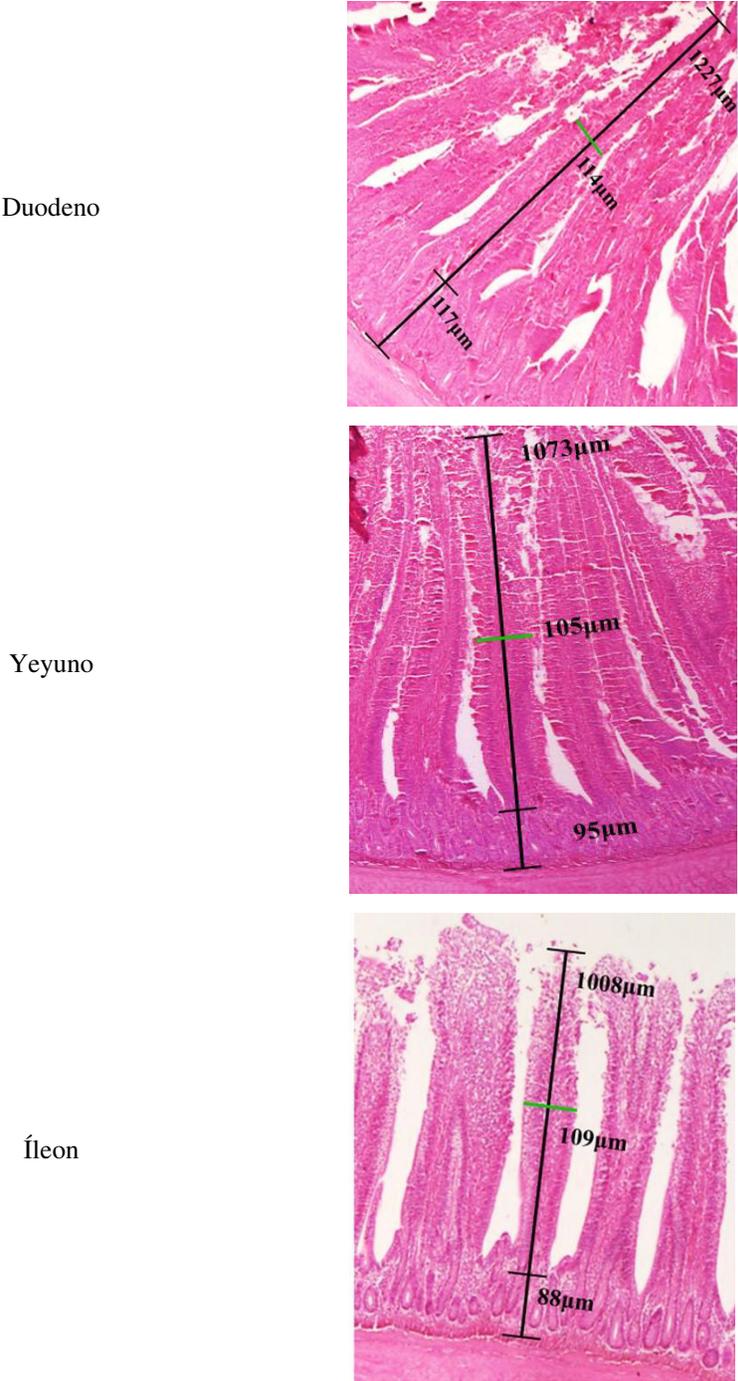


Figura 5. Histología del intestino delgado de pollos de engorda sin la suplementación de aceite esencial de orégano (CON).

CON = dieta control (sin AO en dieta ni agua). La tinción de HyE (hematoxilina-eosina) señalando el largo, ancho de en las vellosidades intestinales y profundidad de criptas, fotografías tomadas con aumento de 10 \times .

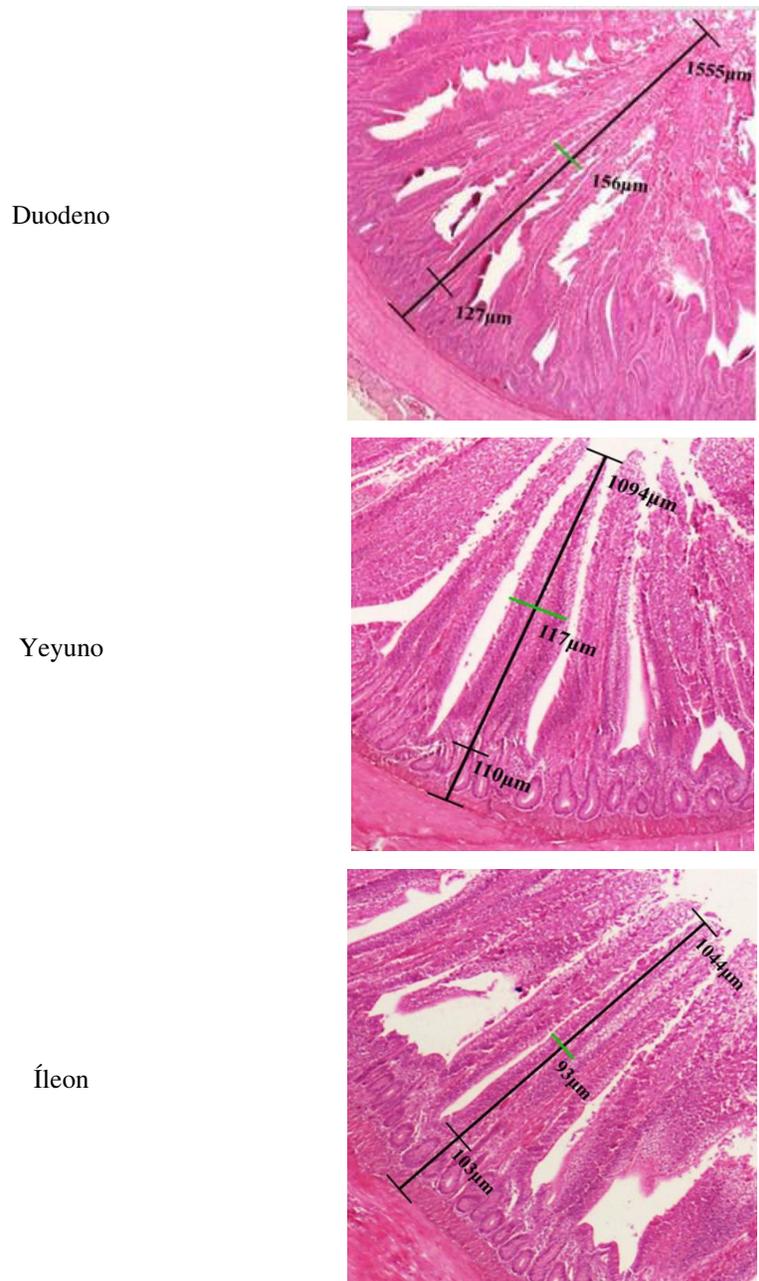


Figura 6. Histología del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en dieta (AODI).

AODI = 200 mg/kg de AO en dieta.

La tinción de HyE (hematoxilina-eosina) señalando el largo, ancho de en las vellosidades intestinales y profundidad de criptas, fotografías tomadas con aumento de 10x.

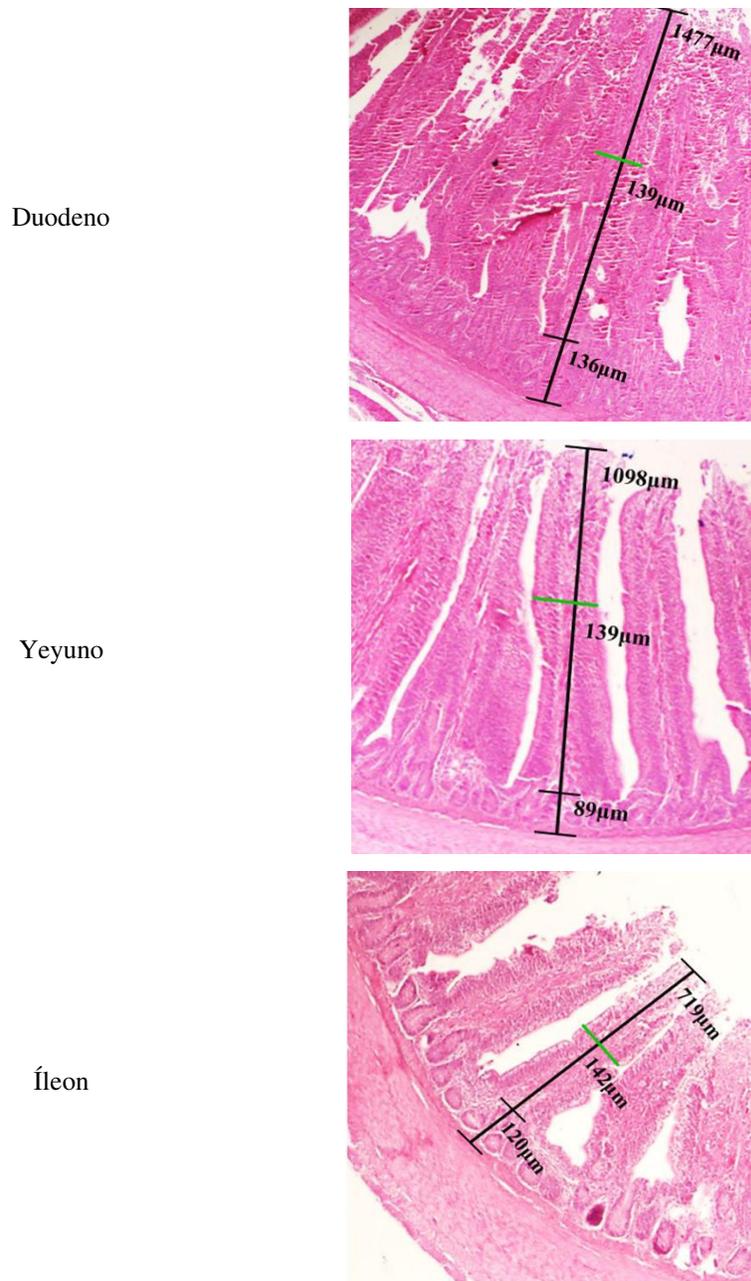


Figura 7. Histología del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en agua de bebida (AOAB).

AOAB = 200 mg/kg de AO en agua de bebida.

La tinción de HyE (hematoxilina-eosina) señalando el largo, ancho de en las vellosidades intestinales y profundidad de criptas, fotografías tomadas con aumento de 10x.

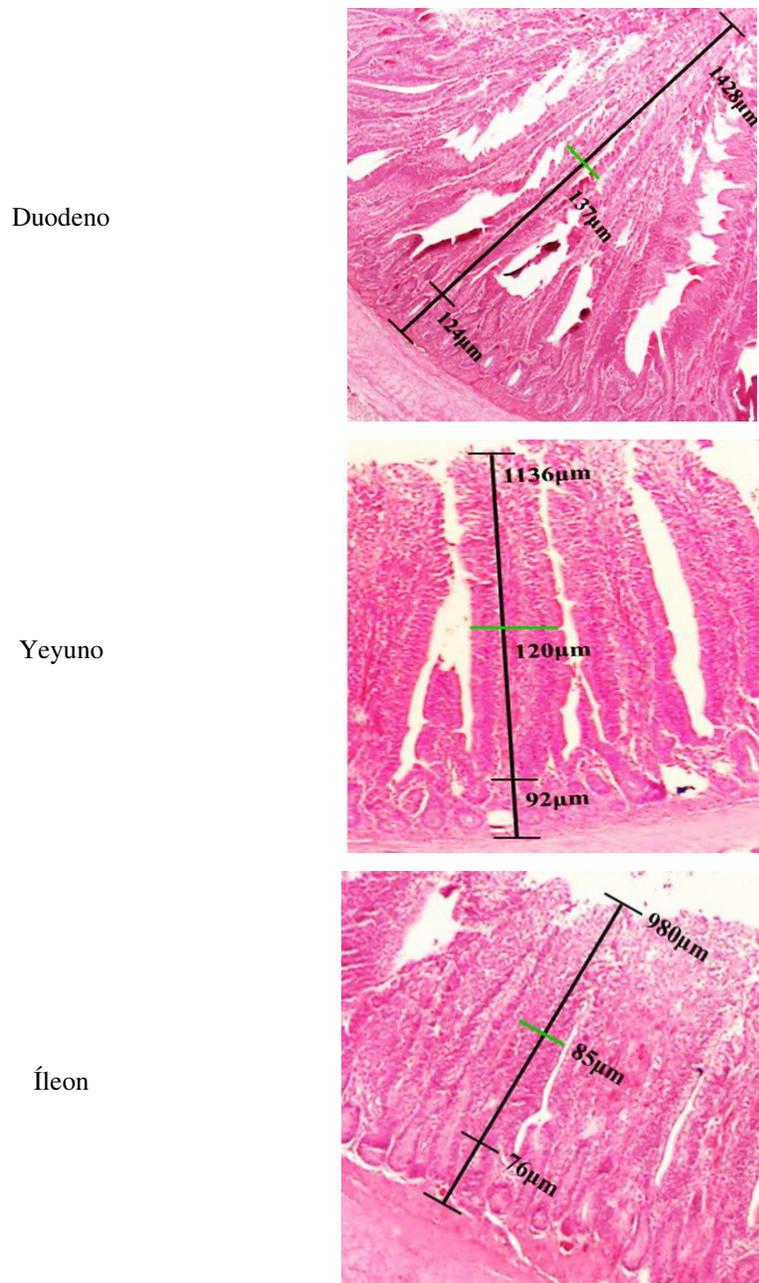


Figura 8. Histología del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en dieta y agua de bebida (DIAB).

DIAB = 200 mg/kg de AO en dieta + 200 mg/kg de AO en agua de bebida.

La tinción de HyE (hematoxilina-eosina) señalando el largo, ancho de en las vellosidades intestinales y profundidad de criptas, fotografías tomadas con aumento de 10x.

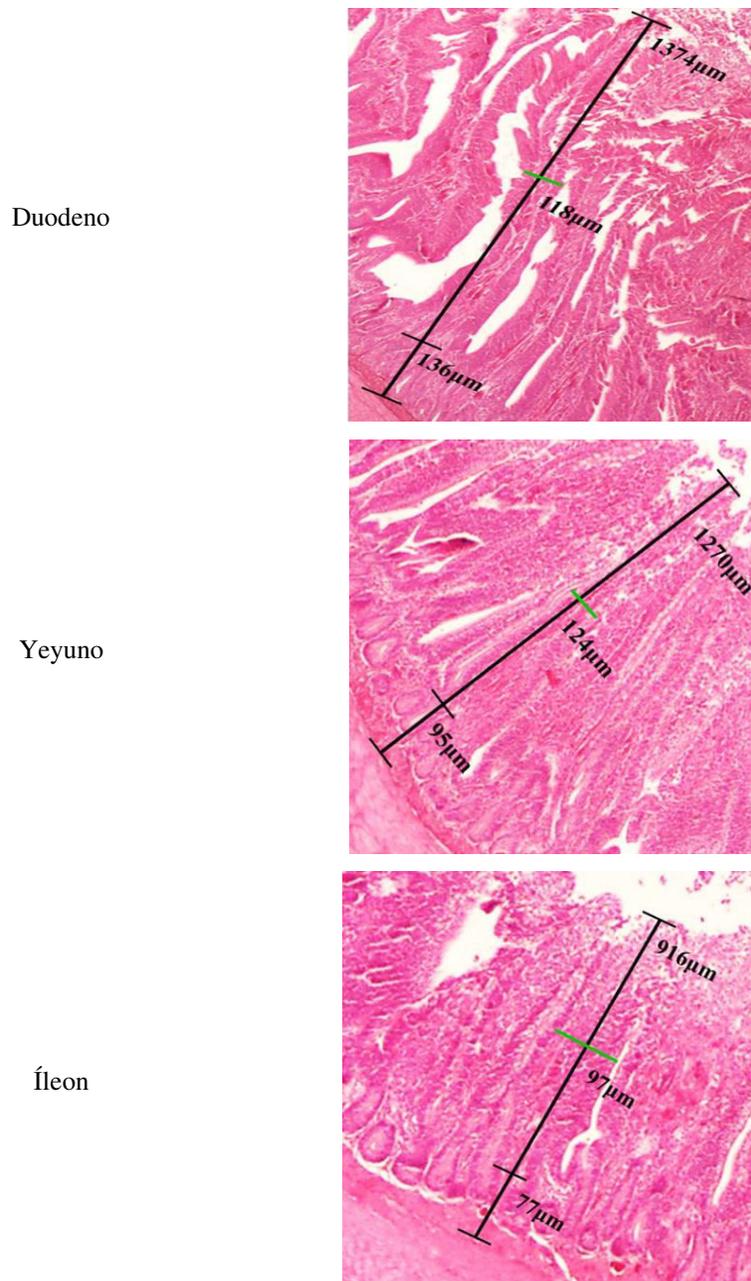


Figura 9. Histología del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con emulsificante Tween20 (TWN).

TWN = 200 mg/kg emulsificante Tween20 en agua de bebida. La tinción de HyE (hematoxilina-eosina) señalando el largo, ancho de en las vellosidades intestinales y profundidad de criptas, fotografías tomadas con aumento de 10x.

Células Caliciformes

La presencia de células caliciformes en el intestino delgado indica tejidos sanos, renovados y funcionales (Tzora et al., 2016), además de ser la primera línea de defensa en el tracto gastrointestinal (TGI) contra daños físicos y químicos causados por la ingesta de alimento, microbios y productos microbianos (Kim y Ho, 2010). La Tabla 13 muestra el número de células caliciformes en el intestino delgado de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano durante 42 días. Las células caliciformes en duodeno, yeyuno e íleon obtuvieron los mayores valores ($P < 0.05$) en los tratamientos AOAB y DIAB (siendo AOAB mayor en duodeno y DIAB mayor en yeyuno e íleon), y los menores valores ($P < 0.05$) en tratamiento CON. Las células caliciformes presentaron una forma caliciforme típica (Figuras 10-14), siendo numéricamente más altas en yeyuno e íleon para los tratamientos AOAB y DIAB.

Shirani et al. (2019) han señalado que los aditivos fitogénicos tienen efectos sobre la secreción intestinal de moco sin causar alteraciones y pueden prevenir la adhesión de patógenos (degradando su membrana celular) a las células epiteliales intestinales dando como resultado un incremento de algunas bacterias ácido lácticas, lo que aumenta el número de células caliciformes involucradas en la secreción de mucina y como consecuencia reduce la incidencia de sus efectos tóxicos en la morfología intestinal. En este estudio con AEO en dieta y agua de bebida no fue determinado el conteo de bacterias ácido lácticas, pero los resultados obtenidos para AOAB y DIAB en las células caliciformes puede indicarse que la toxicidad es prevenida o controlada por AEO en el intestino delgado.

En el duodeno, similares resultados fueron presentados por Liu et al. (2018) al evaluar 200 μ L de carvacrol en pollos de engorda con daño intestinal causado por el *Salmonella entérica*, demostraron que la administración oral de AEO promueve el número de las células caliciformes y puede contrarrestar el daño intestinal. Esto es evidencia para indicar que el AEO del presente estudio vía dieta o agua de bebida mejoraría cualquier daño en el intestino delgado o bien mejorar la salud intestinal de los pollos de engorda.

Tzora et al. (2016) obtuvieron un aumento en el número de células caliciformes en yeyuno al evaluar 0.5 g/kg de un aditivo comercial con 5% de AO; estos autores destacaron las propiedades beneficiosas del aceite esencial de orégano como el efecto antimicrobiano y

antioxidante para que incrementen el número de células caliciformes. En la investigación de Giannenas et al. (2019) encontraron incrementos de células caliciformes en el íleon usando 500 mg/kg de un compuesto herbal constituido por ajo (*Allium sativum*), jengibre (*Zingiber officinale*), achicoria (*Cichorium intybus*), eruca vesicaria (*Eruca sativa*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), fenogreco (*Trigonella foenum graecum*), alcaravea de ajowan (*Trichyspermum ammi*), alcanforero (*Cinnamomum camphora*) y menta (*Mentha piperata*) que fue suplementado en la dieta.

Tabla 13. Efecto del aceite de orégano sobre células caliciformes y células productoras de IgA en el intestino delgado de pollos de engorda a 42 días.

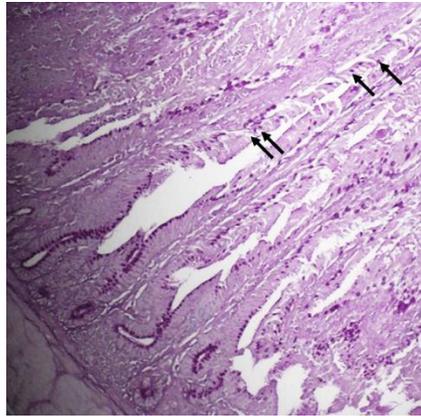
Sección intestinal	Tratamientos ¹					EEM ²	P-values
	CON	AODI	AOAB	DIAB	TWN		
Duodeno	62.83 ^c	71.20 ^b	84.63 ^a	84.13 ^a	75.53 ^b	1.11	< 0.001
Yeyuno	80.07 ^c	90.20 ^b	90.83 ^b	98.03 ^a	90.73 ^b	1.23	< 0.001
Íleon	92.87 ^c	99.23 ^b	103.07 ^{ab}	107.30 ^a	93.36 ^c	1.11	< 0.001
IgA (μm^2)	34.30 ^{ab}	35.90 ^{ab}	37.13 ^a	32.93 ^b	35.33 ^{ab}	0.75	0.003

¹ CON = dieta control (sin AO en dieta ni agua); AODI = 200 mg/kg de AO en dieta; AOAB = 200 mg/kg de AO en agua de bebida; DIAB = 200 mg/kg de AO en dieta + 200 mg/kg de AO en agua de bebida; TWN = 200 mg/kg emulsificante Tween20 en agua de bebida.

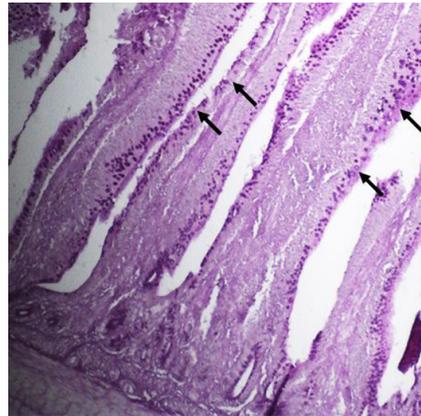
² EEM = error estándar de la media.

^{a-b} Medias (n = 30 secciones; 3 réplicas por sección de cada tratamiento) en filas y con diferente superíndice son diferentes significativamente (P < 0.05).

Duodeno



Yeyuno



Íleon

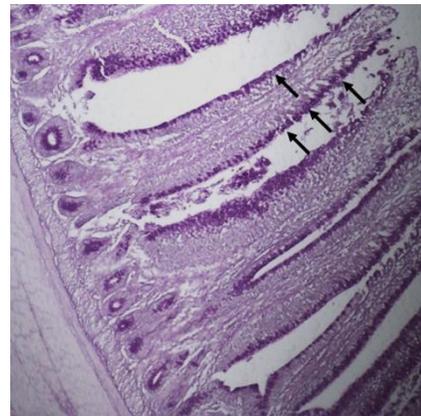
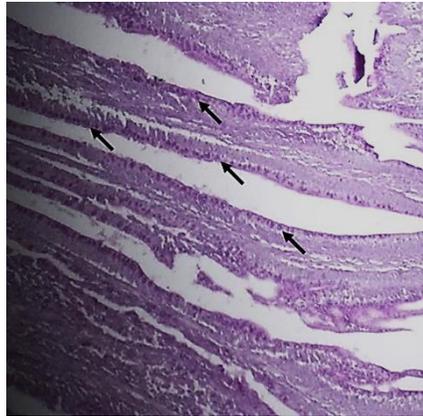


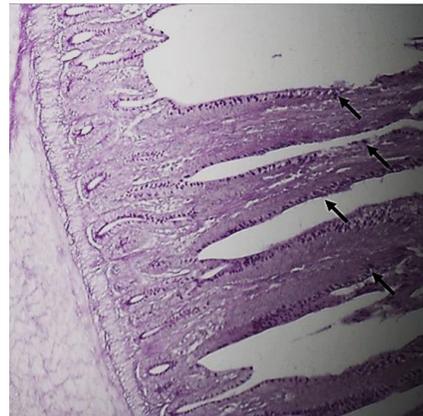
Figura 10. Efecto del aceite de orégano sobre células caliciformes en secciones del intestino delgado de pollos de engorda sin suplementar con aceite de orégano (CON).

CON = dieta control (sin AO en dieta ni agua). La tinción de PAS (Periodic Acid-Schiff) en las vellosidades indica células caliciformes con un color magenta oscuro, fotografías tomadas con aumento de 40x.

Duodeno



Yeyuno



Íleon

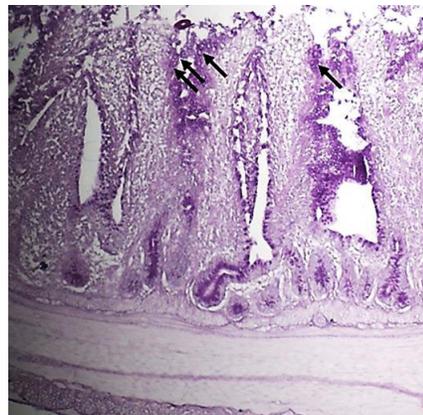
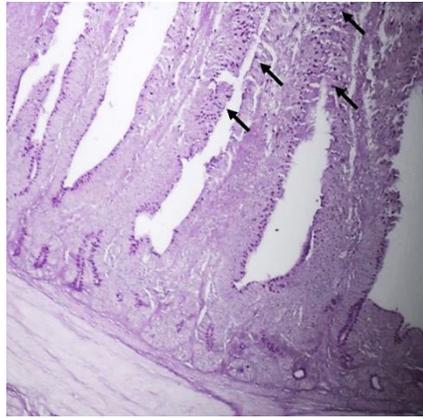


Figura 11. Efecto del aceite de orégano sobre células caliciformes en secciones del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en dieta (AODI).

AODI = 200 mg/kg de AO en dieta. La tinción de PAS (Periodic Acid-Schiff) en las vellosidades indica células caliciformes con un color magenta oscuro, fotografías tomadas con aumento de 40x.

Duodeno



Yeyuno



Íleon

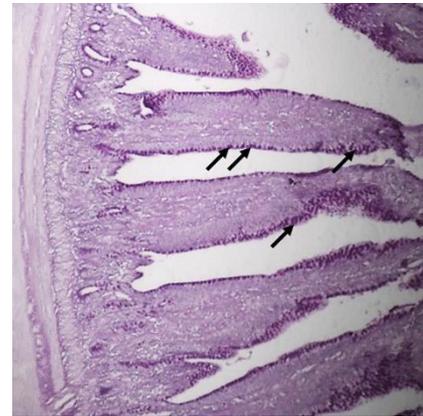
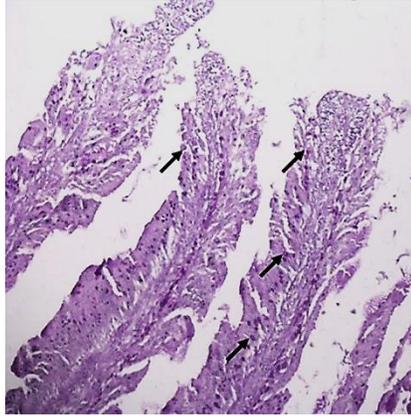


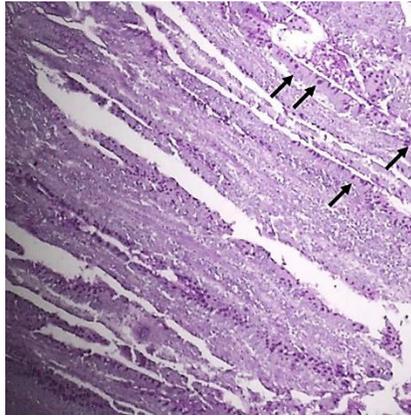
Figura 12. Efecto del aceite de orégano sobre células caliciformes en secciones del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en agua de bebida (AOAB).

AOAB = 200 mg/kg de AO en agua de bebida. La tinción de PAS (Periodic Acid-Schiff) en las vellosidades indica células caliciformes con un color magenta oscuro, fotografías tomadas con aumento de 40x.

Duodeno



Yeyuno



Íleon

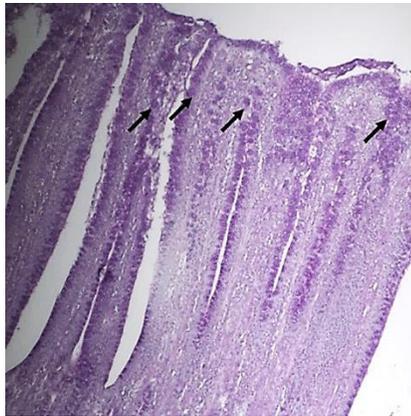
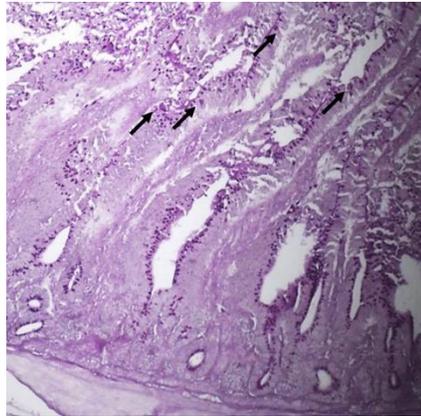


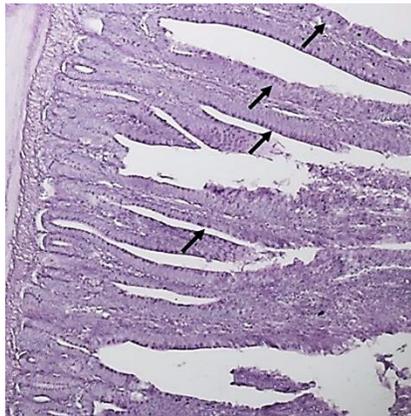
Figura 13. Efecto del aceite de orégano sobre células caliciformes en secciones del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en dieta y agua de bebida (DIAB).

DIAB = 200 mg/kg de AO en dieta + 200 mg/kg de AO en agua de bebida. La tinción de PAS (Periodic Acid-Schiff) en las vellosidades indica células caliciformes con un color magenta oscuro, fotografías tomadas con aumento de 40x.

Duodeno



Yeyuno



Íleon

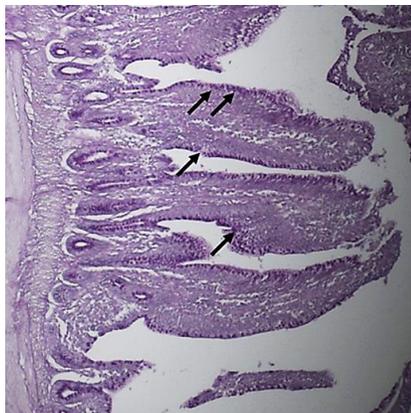


Figura 14. Efecto del aceite de orégano sobre células caliciformes en secciones del intestino delgado de pollos de engorda suplementados con Tween20 emulsificado (TWN).

TWN = 200 mg/kg emulsificante Tween20 en agua de bebida. La tinción de PAS (Periodic Acid-Schiff) en las vellosidades indica células caliciformes con un color magenta oscuro, fotografías tomadas con aumento de 40x.

Inmunoglobulina A

La inmunoglobulina A (IgA) es uno de los principales anticuerpos secretados en la mucosa del TGI en las aves, y su función es: 1) proteger la mucosa intestinal contra la invasión y colonización de patógenos, inhibiendo su unión al epitelio intestinal, y 2) mantener la homeostasis del intestino (Adhikari et al., 2018); 3) neutralización y aglutinación viral. Los resultados de las áreas de células positivas para IgA en el íleon de los pollos de engorda suplementados con AEO en dieta y agua de bebida son presentadas en la Figura 15 y mostradas en las Figuras 16, 17, 18, 19 y 20. Las áreas de células positivas IgA presentaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre los grupos experimentales, donde AOAB obtuvo el valor más alto ($37.13 \mu\text{m}^2$) y DIAB el valor más bajo ($32.93 \mu\text{m}^2$) (Tabla 13 y Figura 15). Descriptivamente, las áreas de células positivas IgA, por célula, fue determinada como un núcleo rodeado por un anillo de citoplasma de color amarillo-marrón, encontrado en el área de la lámina propia de la mucosa del intestino.

El presente estudio mostró que las aves suplementadas con 200 mg/kg de AO en agua de bebida (AOAB) aumentó la presencia de IgA en la mucosa ileal. Estos mismos resultados fueron reportados por Yang et al. (2018) y Yang et al. (2019) al suplementar 0.30 g/kg de un compuesto comercial (100 g/kg de timol y ácidos orgánicos encapsulados) a los 42 d, mejorando el estado inmune de los pollos de engorda debido a los incrementos de IgA; estos autores indicaron que este efecto es debido a la acción antimicrobiana del timol, que reduce las bacterias dañinas y promueve la actividad enzimas digestivas enterocinasa, amilasa, peptidasas y lipasas. Por otra parte, Zhang et al. (2019) no encontraron diferencia en la producción de IgA al suplementar una mezcla ácido timol-benzoico al 1% en dietas de pollos de engorda, inoculados con *Salmonella enteritidis*; no obstante, obtuvieron un aumento de IgA que destacó en los tratamientos con antibióticos y otras mezclas aceites esenciales.

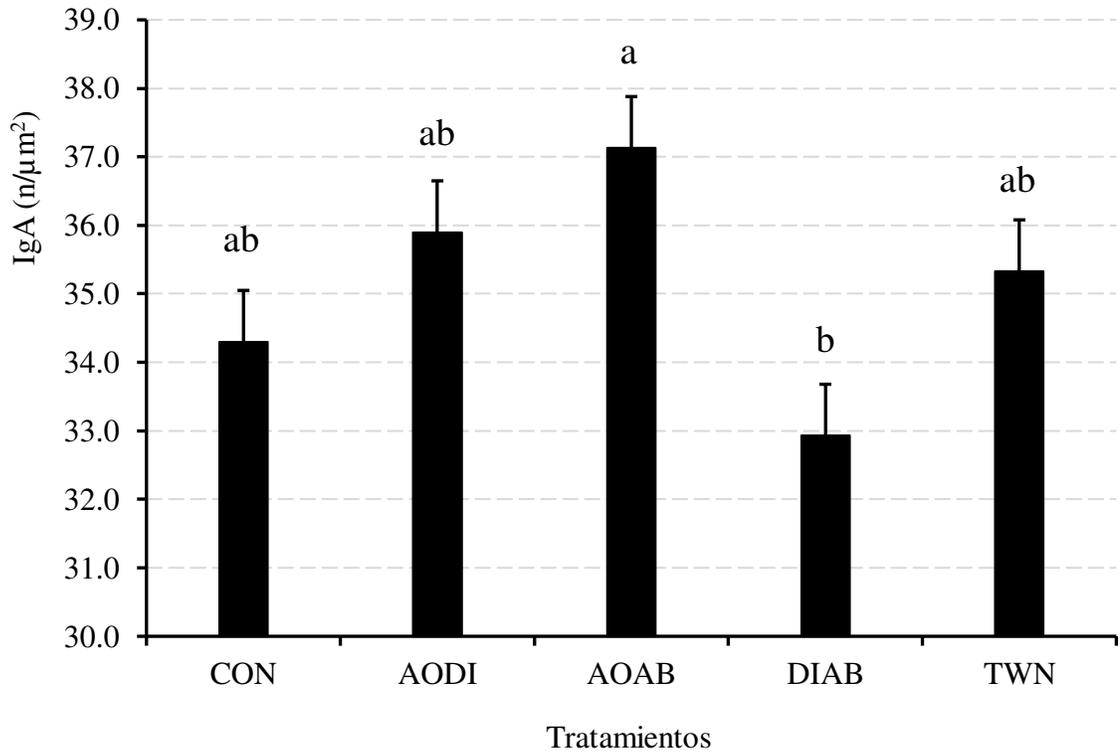


Figura 15. Efecto del aceite de orégano en dieta y agua de bebida sobre células positivas para IgA (n/μm²) en íleon de pollos de engorda.

Los resultados se representan como el valor medio ± EEM de cada tratamiento (n = 30). Las medias sin una letra común difieren significativamente (P < 0.05).

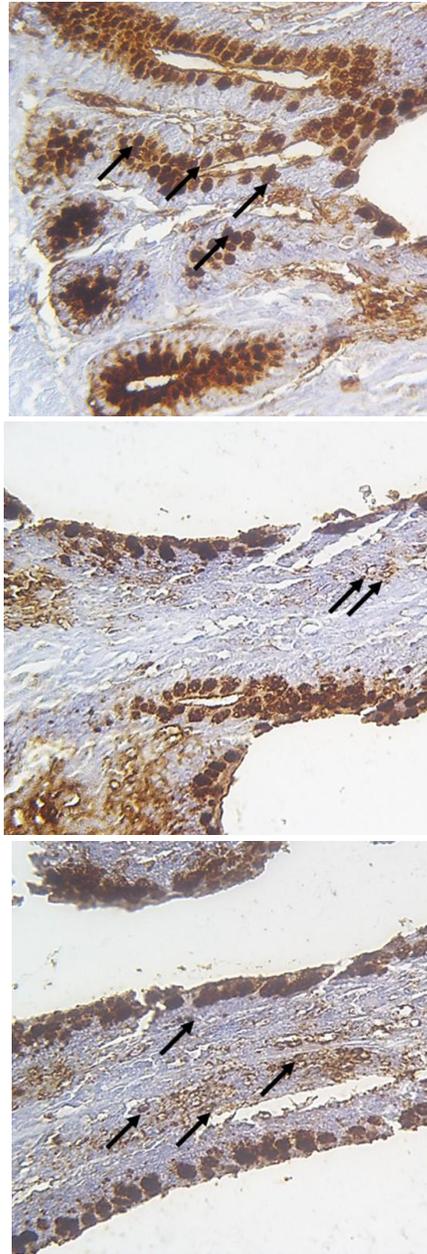


Figura 16. Efecto de la suplementación de aceite de orégano en dieta y agua de bebida sobre células positivas para IgA ($n/\mu\text{m}^2$) en íleon de pollos de engorda sin la suplementación de aceite de orégano (CON).

CON = dieta control (sin AO en dieta ni agua). La tinción de color marrón en la lámina propia de las vellosidades indica células positivas para IgA (fotografías tomadas con aumento de $\times 40$).

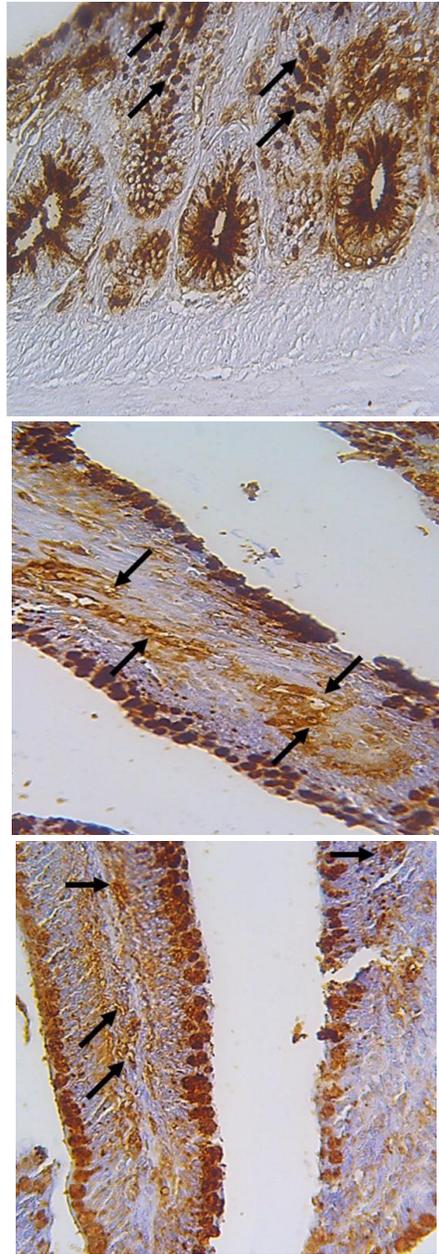


Figura 17. Efecto de la suplementación de aceite de orégano en dieta y agua de bebida sobre células positivas para IgA ($n/\mu\text{m}^2$) en íleon de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en dieta (AODI).

AODI = 200 mg/kg de AO en dieta. La tinción de color marrón en la lámina propia de las vellosidades indica células positivas para IgA (fotografías tomadas con aumento de $\times 40$).

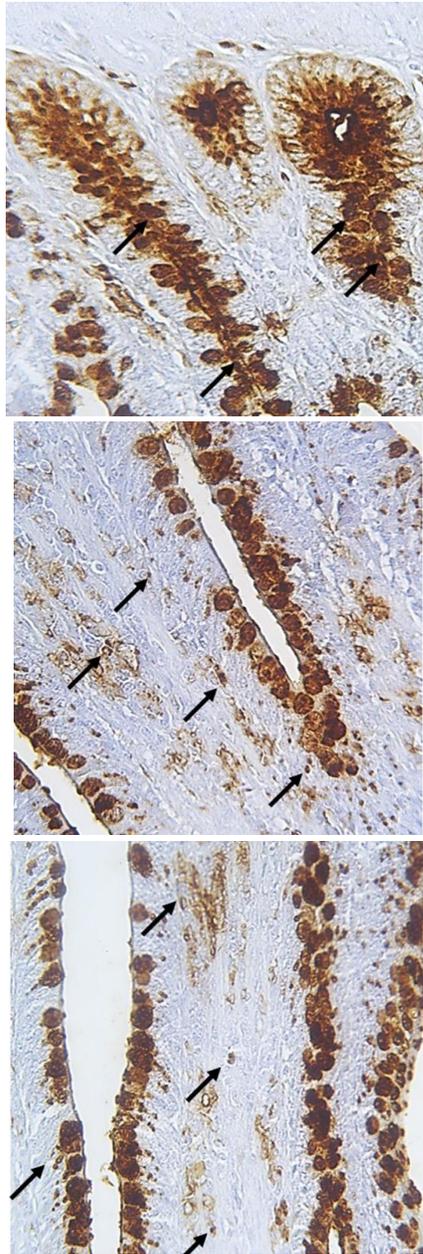


Figura 18. Efecto de la suplementación de aceite de orégano en dieta y agua de bebida sobre células positivas para IgA ($n/\mu\text{m}^2$) en íleon de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en agua de bebida (AOAB).

AOAB = 200 mg/kg de AO en agua de bebida. La tinción de color marrón en la lámina propia de las vellosidades indica células positivas para IgA (fotografías tomadas con aumento de $\times 40$).

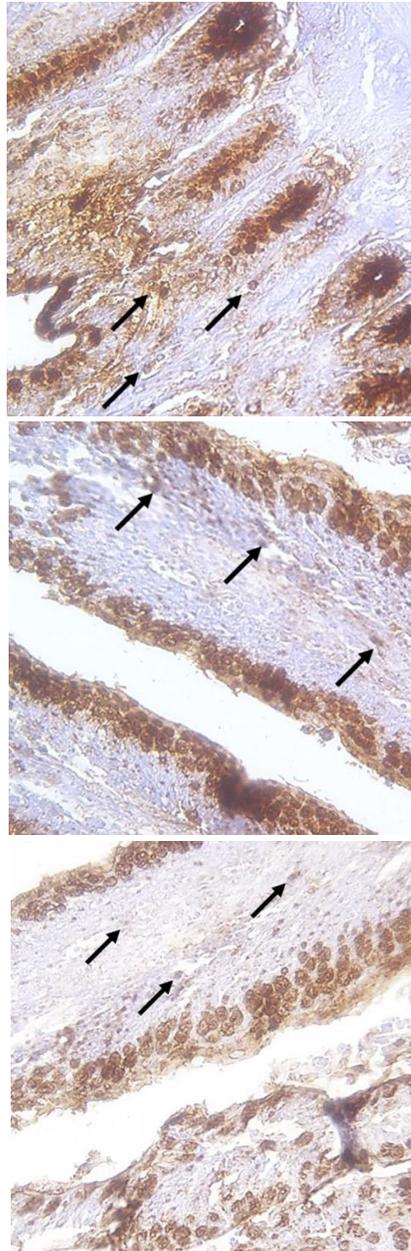


Figura 19. Efecto de la suplementación de aceite de orégano en dieta y agua de bebida sobre células positivas para IgA ($n/\mu\text{m}^2$) en íleon de pollos de engorda suplementados con aceite de orégano en dieta y agua de bebida (DIAB).

DIAB = 200 mg/kg de AO en dieta + 200 mg/kg de AO en agua de bebida. La tinción de color marrón en la lámina propia de las vellosidades indica células positivas para IgA (fotografías tomadas con aumento de $\times 40$).

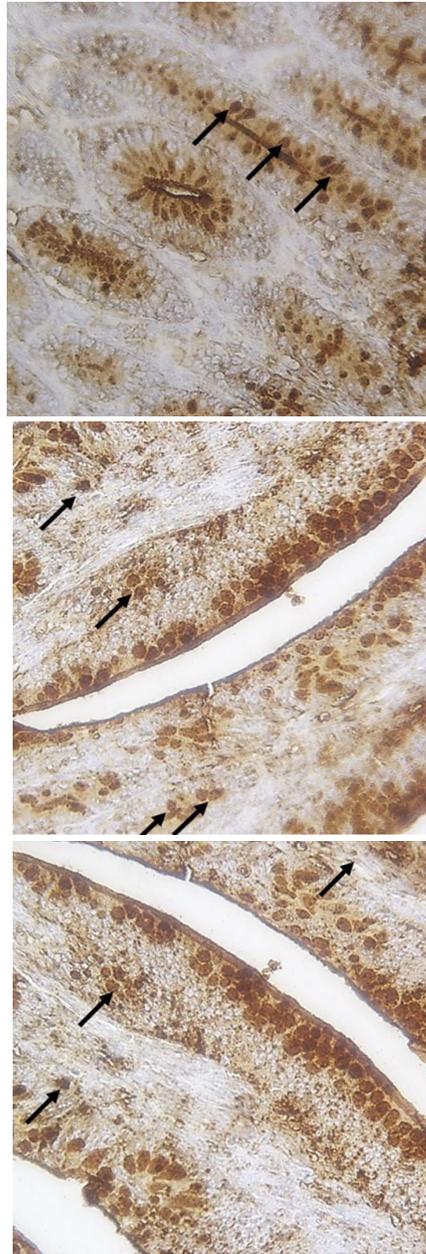


Figura 20. Efecto de la suplementación de aceite de orégano en dieta y agua de bebida sobre células positivas para IgA ($n/\mu\text{m}^2$) en íleon de pollos de engorda suplementados con Tween20 emulsificado (TWN).

TWN = 200 mg/kg emulsificante Tween20 en agua de bebida. La tinción de color marrón en la lámina propia de las vellosidades indica células positivas para IgA (fotografías tomadas con aumento de $\times 40$).

Variables fisicoquímicas de la carne de pechuga de pollo

En las variables fisicoquímicas de la carne cruda de la pechuga de los pollos de engorda suplementados con AEO, la luminosidad (L^*), tendencia al color rojo (a^*), saturación (Chroma) y tonalidad (ángulo Hue) fueron significativamente diferentes ($P < 0.05$) entre los tratamientos (Tabla 14). Las variables de pH y CRA no fueron diferentes ($P > 0.05$) estadísticamente entre los tratamientos; resultados estadísticos contradictorios de estas variables fueron las investigaciones de Gámez-Piñón et al. (2015) y Upadhaya et al. (2019), al obtener influencia de AEO en pH y CRA; resultados atribuidos a una rápida absorción y metabolización de los componentes del aceite después de la ingesta. En este estudio la suplementación de 200 mg/kg de AEO en dieta y agua de bebida no afectó el pH y por lo tanto la CRA no fue afectada; ya que un mayor valor de pH está relacionado con una mejor capacidad de retención de agua en la carne, y en caso contrario a un pH bajo (acumulación de ácido láctico vía glucólisis) provoca la desnaturalización de las proteínas (Toomer et al., 2019), afectando la estabilidad de las miofibrillas y pérdida de agua. Entonces, en este estudio estas variables fueron estables y las proteínas de las miofibrillas estuvieron estables.

En L^* , el tratamiento DIAB (200 mg/kg AO en dieta y agua de bebida) obtuvo el resultado más bajo y TWN obtuvo el resultado más alto. El aumento en L^* para TWN es debido a que los emulsificantes tienden a mejorar la digestibilidad de lípidos, al actuar como catalizador para aumentar la superficie activa de las grasas y puedan hidrolizarse (lipasa) las moléculas de triglicéridos en ácidos grasos y monoglicéridos, favoreciendo la formación de micelas producto de la lipólisis (Upadhaya et al., 2018). En contraste, Liu et al. (2019) atribuyeron la disminución de L^* a un posible efecto antioxidante del AEO de la mioglobina y pueden conducir a blancura parcial de la carne.

Un postulado atribuible a DIAB, es que cuando los pollos además de suplementarse con AEO en la dieta y en conjunto con AEO en agua de bebida (200 mg/kg) pueden mejorar la actividad antioxidante del alimento que consume (mejor calidad nutricional), que cuando llegan al buche e inicia el proceso de degradación con las enzimas y jugos gástricos mejoran la actividad de los mismos, y complementados en la molleja con su molido mejora la digestibilidad de los nutrimentos y su adsorción cuando pasan por los intestinos; además en esta adsorción también pueden asimilarse las moléculas del AEO como el

carvacrol y timol que pueden llegar hasta el tejido muscular. De esta manera, el pH y la CRA pueden ser estables a nivel de fibras musculares debido a la biodisponibilidad de nutrimentos como los aminoácidos y grasas. En el caso de los lípidos a nivel fibra muscular, el efecto del AEO podría disminuir la oxidación de lípidos en el músculo al reaccionar con los radicales lípidos e hidroxilos (carvacrol y timol), haciendo estables los fosfolípidos de las membranas y así mejorar la capacidad antioxidante de la carne (Forte et al., 2018).

Tabla 14. Efecto del aceite de orégano en pechuga de pollos sobre variables fisicoquímicas y parámetros de color.

Trat ¹	Variables ²						
	pH	CRA	L*	a*	b*	Chroma	Hue
CON	5.89 ^a	54.56 ^a	66.46 ^{ab}	12.38 ^{ab}	11.00 ^a	16.80 ^{ab}	41.86 ^b
AODI	5.88 ^a	55.32 ^a	66.64 ^{ab}	13.14 ^a	11.36 ^a	17.45 ^{ab}	41.46 ^b
AOAB	5.93 ^a	55.46 ^a	65.86 ^{ab}	12.71 ^a	11.77 ^a	17.31 ^{ab}	42.56 ^b
DIAB	5.92 ^a	55.27 ^a	65.44 ^b	12.86 ^a	12.13 ^a	17.67 ^a	43.23 ^{ab}
TWN	5.86 ^a	54.26 ^a	67.99 ^a	10.87 ^b	12.01 ^a	16.32 ^b	47.84 ^a
P value	0.4212	0.6520	0.0188	0.0006	0.0607	0.0441	0.0034

¹CON = dieta control (sin AO en dieta ni agua), AODI = 200 mg/kg de AO en dieta, AOAB = 200 mg/kg de AO en agua de bebida, DIAB = 200 mg/kg de AO en dieta + 200 mg/kg de AO en agua de bebida y, Tween20 (TWN) = 200 mg/kg como emulsificante en el agua de bebida.

²pH = potencial de hidrógeno; CRA = capacidad de retención de agua L* = Luminosidad; a* = tendencia a rojo; b* = tendencia al amarillo; Chroma = índice de saturación; Hue = ángulo Hue (tono).

^{a-b} Medias (n = 12 piezas; 2 pares de piezas por réplica de cada tratamiento) en columnas y con diferente superíndice son diferentes significativamente (P<0.05).

La variable a* presentó mayores valores en el tratamiento AODI (200 mg/kg AO en dieta) y el tratamiento TWN obtuvo menores valores. Chroma fue más alto en DIAB y más bajo en TWN. Por último, Hue logró los valores más bajos en CON y más altos en TWN. En

cuanto a pH, capacidad de retención de agua (CRA) y tendencia al color amarillo (b^*) no mostraron diferencias estadísticas ($P > 0.05$) entre los tratamientos. Similares resultados en la variable b^* presento Cázares-Gallegos et al., (2019) y Hernández-Coronado et al. (2019) cuando evaluaron 200 mg/kg y 400 mg/L AO en las dietas y agua de bebida, respectivamente. Estos autores encontraron que la adicción de AO en la dieta y en agua de bebida modifica b^* , en contraste con esta investigación que no fue diferente. Como el contenido de carotenoides en los AO puede incrementar b^* en la carne fresca de pechuga (Cázares-Gallegos et al., 2019; Hernández-Coronado et al., 2019), los carotenoides también pueden modificar la pigmentación rojiza cuando el AEO es adicionado en la dieta, complementándose cuando también es usado en agua de bebida. Esto sucede porque en el *Pectoralis major*, las fibras musculares principales son fibras α -blancas, que contienen una menor cantidad de hierro, por lo cual hay una mayor influencia de esta pigmentación (Forte et al., 2018). Estos efectos pueden tener relación con los subproductos de oxidación de la mioglobina y hemoglobina resultantes de la oxidación de los lípidos (Tekce et al., 2019); esto es porque la estabilidad oxidativa de los lípidos está relacionada con la capacidad de eliminación de radicales libres causantes de la peroxidación lipídica y cuando el AEO cede grupos hidroxilo, existe un bloqueo del proceso de la cadena radical al intervenir con los radicales peróxido (Akbarian et al., 2014; Wan et al., 2017); así los grupos hemo se mantienen estables en el medio.

Fuerza de corte y perfil de textura de la carne

Las variables de pérdida por cocción (PCc), fuerza de corte (FzaCte) y análisis del perfil de textura (APT) en pechuga de pollo con la suplementación de AO son presentadas en la Tabla 15. La FzaCte, dureza, cohesividad, gomosidad y masticabilidad obtuvieron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre los tratamientos. En la FzaCte, TWN presentó el valor más alto; esto puede deberse a la composición y estructura muscular provocada por efecto del emulsificante sobre los ácidos grasos en el músculo, obteniendo una mayor cantidad de proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas, menor diámetro de fibra y menor fragmentación de miofibrillas (Sorapukdee et al., 2013), haciendo más resistente las miofibrillas al corte. Por otra parte, el tratamiento AOAB (200 mg/kg AO en agua de bebida) el más bajo. En particular, la dureza fue mayor en CON y más bajos en DIAB.

Contrariamente, la cohesividad fue más alta para los tratamientos AODI y AOAB y más bajos en CON. Así mismo, gomosidad y masticabilidad fueron las más altas para CON y más bajas para DIAB. Por otra parte, PCc, adhesividad, elasticidad y resistencia no mostraron resultados estadísticos diferentes ($P > 0.05$). Los resultados en la textura de la carne del presente estudio demostraron que el AEO mejora la suavidad de la carne (menor dureza) e incrementar la cohesividad a nivel de fibra muscular.

Tabla 15. Pérdida por cocción y análisis textura en pechugas de pollos suplementados con aceite de orégano.

Trat ¹	Variables ²								
	PCc	FzaCte (gf)	Dur (g)	Adh (g s ⁻¹)	Elast (mm)	Coh	Gom (g)	Mast (g mm)	Resist
CON	15.50 ^a	12.75 ^b	68.03 ^a	-17.57 ^a	0.53 ^a	0.30 ^b	21.92 ^a	11.68 ^a	0.13
AODI	13.47 ^a	13.34 ^b	58.71 ^{ab}	-29.19 ^a	0.50 ^a	0.35 ^{ab}	20.58 ^{ab}	10.45 ^{ab}	0.14
AOAB	14.17 ^a	11.10 ^b	59.67 ^a	-15.40 ^a	0.50 ^a	0.35 ^a	20.82 ^{ab}	10.74 ^{ab}	0.15
DIAB	14.40 ^a	13.11 ^b	45.62 ^b	-17.72 ^a	0.50 ^a	0.34 ^{ab}	15.50 ^b	7.82 ^b	0.14
TWN	15.96 ^a	17.07 ^a	55.66 ^{ab}	-15.75 ^a	0.51 ^a	0.33 ^{ab}	18.44 ^{ab}	9.47 ^{ab}	0.15
P value	0.2352	< 0.0001	0.0003	0.0510	0.3316	0.0341	0.0111	0.0131	0.0608

¹CON = dieta control (sin AO en dieta ni agua), AODI = 200 mg/kg de AO en dieta, AOAB = 200 mg/kg de AO en agua de bebida, DIAB = 200 mg/kg de AO en dieta + 200 mg/kg de AO en agua de bebida y, Tween20 (TWN) = 200 mg/kg como emulsificante en el agua de bebida.

² FC = fuerza de corte (Newtons); Dur = dureza (Newtons); Elast = elasticidad; Coh = cohesividad (adimensional); Gom = gomosidad; Mast = masticabilidad; Resist = resistencia (adimensional); Adh = adhesividad.

^{a-b} Medias (n = 24 secciones; 2 pechugas por réplica de cada tratamiento) en columnas y con diferente superíndice son diferentes significativamente ($P < 0.05$).

La mayoría de las investigaciones con extractos vegetales y plantas han reportado rendimientos de la canal, pH, CRA y color de la carne (Méndez Zamora et al., 2017; Reyer

et al., 2017; Xianjing et al., 2017; Chowdhury et al., 2018b; Silva Vázquez et al., 2018; Adaszyńska-Skwirzyńska et al., 2018; Betancourt et al., 2019; Tekce et al., 2019); por lo tanto, son escasas investigaciones en pollos de engorda suplementados con AO en dietas y en agua de bebida usando extractos de plantas, las que han evaluado el perfil de textura de la carne (Park et al., 2014; Cázares-Gallegos et al., 2019; Hernández-Coronado et al., 2019; Sánchez-Zamora et al., 2019), por lo tanto, se necesitan más investigaciones para describir los efectos del AEO en los parámetros de textura en la carne de pollo.

Con los resultados obtenidos en esta investigación, la suavidad de la carne cocida de las pechugas de pollos de engorda mejora con la inclusión de AO en la dieta (AODI) y en agua de bebida (DIAB) en los pollos de engorda, debido a que presentaron los menores valores en dureza y FzaCte. Contrario a estos resultados, Park et al. (2014) encontraron efecto en adhesividad y no encontraron efecto en las otras variables del perfil de textura; sin embargo, estos autores tuvieron resultados similares en PCc, indicando que los niveles usados de AO en las dietas pueden afectar algunos parámetros fisicoquímicos. En efecto, Shen et al. (2019) mencionaron que la suplementación del extracto de hoja de *bambú* en 2 y 3 g/kg disminuye la PCc y FzaCte, debido al contenido de flavonoides que provoca una disminución en la oxidación de los lípidos y mejora la calidad de la carne de pollos de engorda. Esto debido a que las reacciones de oxidación y sus productos de compuestos son asociados con el deterioro de la calidad de la carne como la decoloración, el deterioro de la textura y sabores desagradables (Lorenzo et al., 2017). Además, la actividad antioxidante del AEO es atribuida al carvacrol, ya que reduce la formación de radicales libres y con esto disminuye la oxidación lipídica evitando el deterioro de las proteínas sarcoplasmáticas (Pateiro et al., 2018).

Por otra parte, Cázares-Gallegos et al. (2019) presentaron resultados similares de cohesividad y dureza, indicando que los niveles de AEO usados en las dietas (200, 400 y 600 mg kg⁻¹) pueden incrementar la dureza, cohesividad y resistencia de la carne, cuando la síntesis y estructuración de la fibra muscular mejora cuando un componente antioxidante es usado en las dietas para alimentar los pollos de engorda. No obstante, en esta investigación decreció la dureza en los tratamientos con AEO respecto al control, lo que posiblemente fue debido a la síntesis de ácidos grasos y deposición a nivel muscular. Finalmente, la mejora de las variables de textura es consecuencia de un efecto a nivel

metabólico del AEO durante la división celular de las miofibrillas y síntesis de los ácidos grasos (Sánchez-Zamora et al., 2019).

Evaluación sensorial de la carne

Los atributos sensoriales en pechuga de pollo suplementados con AEO son mostrados en la Tabla 16. La suavidad presentó diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos. La suavidad fue mejor aceptada en el tratamiento DIAB (200 mg/kg AO en dieta y 200 mg/kg en agua de bebida) y la menos aceptada la carne del tratamiento CON (sin AO). Por otra parte, los atributos olor, sabor, jugosidad, y aceptabilidad global no fueron diferentes estadísticamente ($P > 0.05$) entre los tratamientos. En términos generales, los resultados obtenidos en este estudio, el tratamiento AODI fue el mejor aceptado sensorialmente y el tratamiento CON fue el menos aceptado por los consumidores. Reis et al. (2018) mencionaron que el aumento de la dureza provoca un deterioro de la palatabilidad y una menor preferencia de la carne por el consumidor.

Tabla 16. Evaluación sensorial en pechuga de pollo suplementado con aceites de orégano.

Trat ¹	Atributos sensoriales				
	Olor	Sabor	Jugosidad	Suavidad	Aceptabilidad Global
CON	5.53	5.40	5.46	4.70 ^b	5.30
AODI	5.53	5.80	5.96	5.40 ^{ab}	5.73
AOAB	5.50	5.50	5.63	5.27 ^{ab}	5.46
DIAB	5.66	5.50	5.63	5.50 ^a	5.63
TWN	5.49	5.64	5.60	5.13 ^{ab}	5.50
P value	0.9608	0.4787	0.3754	0.0361	0.3617

¹CON = dieta control (sin AO en dieta ni agua), AODI = 200 mg/kg de AO en dieta, AOAB = 200 mg/kg de AO en agua de bebida, DIAB = 200 mg/kg de AO en dieta + 200 mg/kg de AO en agua de bebida y, Tween20 (TWN) = 200 mg/kg como emulsificante en el agua de bebida.
a-b Medias (n = 50) en columnas y con diferente superíndice son diferentes significativamente ($P < 0.05$).

Escasas investigaciones con la suplementación de aceites esenciales de plantas aromáticas en pollos de engorda han evaluado los atributos sensoriales. Hong et al. (2012) obtuvieron diferencias en suavidad y aceptabilidad global, indicando que el efecto del AO puede estar relacionado con la propiedad antioxidante de los compuestos fenólicos como el carvacrol, timol, p -cimeno y γ -terpeno, y podrían influir en el sabor de la carne de pollo cuando es cocida, donde las proteínas, ácidos nucleicos, lípidos y otros componentes de la carne forman un complejo en el cambio estructural de la carne, obteniendo un impacto significativo en el olor y sabor (Küçüközet & Uslu, 2018). La mayor aceptabilidad global entre los tratamientos fueron AODI y DIAB, similares resultados presentaron Al-Hijazeen et al. (2018) con la adicción de AO en la dieta de pollos de engorda.

Por otra parte, Cázares-Gallegos et al. (2019) indicaron que la mayor preferencia del consumidor por la carne de la pechuga de pollo es a mayores niveles de inclusión de AO en la dieta; también, Hernández-Coronado et al. (2019) obtuvieron una mayor preferencia de la carne de pechuga de pollo de los tratamientos con AO cuando usaron 400 mg/kg de *Poliomintha longiflora* Gray y *Lippia berlandieri* Schauer; en estas investigaciones mencionaron que la utilización del AO puede tener un mayor grado de aceptabilidad de la carne. Esto porque el sabor es una de las variables que influyen en la aceptabilidad de un producto; en este estudio, la mayor preferencia del consumidor con respecto al sabor lo obtuvo el tratamiento AODI. La explicación es por los productos secundarios de autooxidación de ácidos grasos como aldehídos, cetonas, hidrocarburos, ésteres, furanos y lactanos se evitan desde la alimentación de las aves y la división celular de las miofibrillas cuando el AEO es adicionado en la dieta y agua de bebida, reduce la oxidación de lípidos y por lo tanto mejora el sabor (Mohamed et al., 2012).

En la presente investigación, la adición de AEO en dieta y agua, así como su combinación mejoró la aceptabilidad de la suavidad de la carne cocida; por lo que puede indicarse que el contenido grasa intramuscular, retención de agua entre las miofibrillas y pérdida de agua por cocción mejoran cuando la carne es cocida. Para esto podría estudiarse la composición química de la carne, el perfil de aminoácidos y ácidos grasos que soporten los cambios bioquímicos que ocurren en la carne de pollo cuando es conservada, procesada o cocida.

CONCLUSIONES

En conclusión, la adicción de aceite esencial de orégano Mexicano (AEO) en 200 mg/kg de AO en dieta + 200 mg/kg de AO en agua de bebida (DIAB) presentó resultados positivos en los parámetros productivos y sacrificio, con menores valores de consumo de alimento y agua, obteniendo un peso al sacrificio similar al tratamiento control (CON). En cuanto a la salud del ave, los análisis sanguíneos mejoraron con la suplementación de AO; además, mejoró la presencia de células caliciformes en yeyuno e íleon.

El AEO en dieta y agua presentó influencia en los parámetros textura con una mejor suavidad de la carne de pollo, identificada y evaluada por el consumidor. Por otra parte, la suplementación de 200 mg/kg de AEO en dieta (AODI) tiene efectos benéficos en las variables de color y al presentar una mayor preferencia del consumidor; no obstante, la adición de 200 mg/kg de AEO en agua de bebida (AOAB) presentó mejores efectos en la morfología intestinal, al aumentar el número de células caliciformes en el duodeno y una mayor presencia células productoras de IgA en el íleon, en comparación con los demás tratamientos. Sin embargo, es necesario seguir investigando sobre la respuesta inmune y su interacción con otros anticuerpos intestinales.

La presente investigación mostró efectos benéficos por la adición del AEO en dieta y agua de bebida, o bien aplicados por separado mejoró el comportamiento productivo, la morfología intestinal y aumenta el número de células caliciformes e IgA en los pollos de engorda. Por lo tanto, la adición de AO podría ser una alternativa natural en la engorda de pollos y beneficiar la industria avícola ofertando una producción animal que cumpla con las expectativas actuales del consumidor.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Wareth A, Kehraus S, Südekum H. 2019. Peppermint and its respective active component in diets of broiler chickens: growth performance, viability, economics, meat physicochemical properties, and carcass characteristics. *Poultry science* 98(9):3850-3859.
- Abdollahi M, Zaefarian F, Ravindran V. 2018. Feed intake response of broilers: Impact of feed processing. *Animal feed science and technology* 237:154-165.
- Adhikari P, Cosby E, Cox A, Franca S, Williams M, Gogal Jr M, Ritz C, Kim K. 2018. Effect of dietary fructooligosaccharide supplementation on internal organs Salmonella colonization, immune response, ileal morphology, and ileal immunohistochemistry in laying hens challenged with *Salmonella enteritidis*. *Poultry science* 97(7):2525-2533.
- Adaszyńska-Skwirzyńska M, Danuta Szczerbińska D., 2019. The effect of lavender (*Lavandula angustifolia*) essential oil as a drinking water supplement on the production performance, blood biochemical parameters, and ileal microflora in broiler chickens, *Poultry Science* 98:358-365.
- Ahsan U, Kuter E, Raza I, Köksal B, Cengiz Ö, Yıldız M, Kızanlık K, Kaya M, Sevim Ö, 2018. Dietary Supplementation of Different Levels of Phytogetic Feed Additive in Broiler Diets: The Dynamics of Growth Performance, Caecal Microbiota, and Intestinal Morphometry. *Brazilian Journal of Poultry Science* 20(4):737-746.
- Akbarian A, Michiels J, Golian A, Buyse J, Wang Y, & De Smet S. 2014. Gene expression of heat shock protein 70 and antioxidant enzymes, oxidative status, and meat oxidative stability of cyclically heat-challenged finishing broilers fed *Origanum compactum* and *Curcuma xanthorrhiza* essential oils. *Poultry Science*, 93(8), 1930-1941.
- Alagawany M, Abd el-hack M, Farag M, Shaheen H, Abdel-Latif M, Noreldin A, Patra A. 2018. The usefulness of oregano and its derivatives in poultry Nutrition. *World's Poultry Science Journal* 74:463-474.
- Al-Hijazeen M, Mendonca A, Lee J, Ahn DU. 2018. Effect of oregano oil and tannic acid combinations on the quality and sensory characteristics of cooked chicken meat. *Poultry science* 97(2):676-683.

- Al-Khalaifah H. 2018. Benefits of probiotics and/or prebiotics for antibiotic-reduced poultry. *Poultry science*, 97(11), 3807-3815.
- Allaire JM, Crowley SM, Law HT, Chang SY, Ko HJ, & Vallance BA. 2018. The intestinal epithelium: central coordinator of mucosal immunity. *Trends in immunology*, 39(9), 677-696.
- Almargot J. 1982. *Manual de Anatomía y de necropsias de las aves C.E.C.S.A., México, DF.*
- Antoni L, Nuding S, Wehkamp J, & Stange E F. 2014. Intestinal barrier in inflammatory bowel disease. *World journal of gastroenterology: WJG*, 20(5), 1165.
- Anzaldúa-Morales A. 1994. *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica.* Acribia. Zaragoza España, pp 220.
- Aranda-Ruíz J, Silva-Vázquez R, Franco-Hernández D. 2009. Caracterización del aceite esencial de orégano liso (*Poliomintha longiflora* Gray) de la localidad Infiernillo en el municipio de Higuera, N.L., México. *Revista Salud Pública y Nutrición* 10:1870-0160.
- Aureli R, La-Marta J, Grossi A, Della Pia A, Esteve-Garcia E, Wulf-Andersen L, Thorsen M. 2018. Una nueva glucuronoxilano hidrolasa producida por fermentación es segura como aditivo para piensos: toxicología y tolerancia en pollos de engorde. *Toxicología reglamentaria y farmacología* 99:213-224.
- Bacanli M, Başaran N. 2019. Importance of antibiotic residues in animal food. *Food and Chemical Toxicology* 125:462-466.
- Bacha JrWJ, Bacha LM. 2012. *Color atlas of veterinary histology.* John Wiley & Sons, pp 113-114.
- Barbarestani Y, Jazi V, Mohebodini H, Ashayerizadeh A, Shabani A, Toghyani M. 2020. Effects of dietary lavender essential oil on growth performance, intestinal function, and antioxidant status of broiler chickens. *Livestock Science* 233:103958.
- Badui, S. 2012. *La ciencia de los alimentos en la práctica.* México: Pearson education, pp 91-95.
- Bauer B, Radovanovic A, Willson N, Bajagai Y, Van H, Moore J, Stanley D. 2019. Oregano: A potential prophylactic treatment for the intestinal microbiota. *Heliyon*, 5(10): e02625.

- Betancourt L, Rodriguez F, Phandanouvong V, Ariza-Nieto C, Hume M, Nisbet D, Afanador-Téllez G, Van AM, Nalian A. 2014. Effect of *Origanum* chemotypes on broiler intestinal bacteria. *Poultry science* 93(10):2526-2535.
- Betancourt L, Hume M, Rodríguez F, Nisbet D, Sohail MU, Afanador-Tellez G. 2019. Effects of Colombian oregano essential oil (*Lippia origanoides* Kunth) and *Eimeria* species on broiler production and cecal microbiota. *Poultry science* 0:1-10.
- Biasato I, Ferrocino I, Biasibetti E, Grego E, Dabbou S, Sereno G, Gasco L, Schiavone A, Capucchio M. 2018. Modulation of intestinal microbiota, morphology and mucin composition by dietary insect meal inclusion in free-range chickens. *BMC veterinary research* 14(1):383.
- Brenes A, Roura E. 2010. Essential oils in poultry nutrition: Main effects and modes of action. *Animal feed science and technology* 158(1-2):1-14.
- Bourne M. 1978. Texture profile analysis. *Food Technology* 32:62-66.
- Bureau Central de la CIE. [Online]. <http://www.cie.co.at/>.
- Bortoluzzi C, Rochell J, Applegate J. 2018. Threonine, arginine, and glutamine: Influences on intestinal physiology, immunology, and microbiology in broilers. *Poultry science* 97(3):937-945.
- Cardinal KM, Kipper M, Andretta I, Leal AN. 2019. Withdrawal of antibiotic growth promoters from broiler diets: performance indexes and economic impact. *Poultry science* 0:1-9.
- Cardoso A, Tessari E. 2003. Estudo dos parâmetros hematológicos em frangos de corte. *Arquivos do Instituto Biológico* 70(4):419-424.
- Calvo-Irabien LM. 2018. Flora aromática nativa mexicana y aceites esenciales: estado actual de la investigación, lagunas en el conocimiento y potencial agroindustrial. *Cultivos y productos industriales* 111:807-822.
- Cázares-Gallegos R, Silva-Vázquez R, Hernández-Martínez CA, Gutiérrez-Soto JG, Kawas-Garza JR, Hume ME, Méndez-Zamora G. 2019. Performance, Carcass Variables, and Meat Quality of Broilers Supplemented with Dietary Mexican Oregano Oil. *Brazilian Journal of Poultry Science* 21(1):01-10.
- CIE. (International Commission on Illumination). 1976. *Colorimetry*. Vienna, Austria:

- Chowdhury S, Prasad Mandal G, Kumar, Patra A. 2018a. Different essential oils in diets of chickens: 1. Growth performance, nutrient utilization, nitrogen excretion, carcass traits and chemical composition of meat. *Animal Feed Science and Technology* 236:86-97.
- Chowdhury S, Prasad Mandal G, Kumar Patra A, Kumar P, Samanta I, Pradhan S, Kumar S. 2018b. Different essential oils in diets of broiler chickens: 2. Gut microbes and morphology, immune response, and some blood profile and antioxidant enzymes. *Animal Feed Science and Technology* 236:39-47.
- Choct M. 2009 Managing gut health through nutrition. *British Poultry Science* 50:9-15.
- Clavijo V, Flórez M. 2017. The gastrointestinal microbiome and its association with the control of pathogens in broiler chicken production: a review. *Poultry science* 97(3):1006-1021.
- Cogburn LA, Liou SS, Rand AL, McMurtry JP. 1989. Growth, metabolic and endocrine responses of broiler cockerels given a daily subcutaneous injection of natural or biosynthetic chicken growth hormone. *The Journal of nutrition* 119(8):1213-1222.
- Colón BL, Pinto CR, Jabib RL, Benavides YM. 2015. Parámetros hematológicos en pollos de engorde criados en una granja de producción cerrada en el trópico bajo. *Revista de Medicina Veterinaria* (29):33-39.
- Cowieson J, Kluentner A 2019. Contribution of exogenous enzymes to potentiate the removal of antibiotic growth promoters in poultry production. *Animal Feed Science and Technology*, 250, 81-92.
- Cravener TL, Vasilatos-Younken R, Wellenreiter RH. 1989. Effect of subcutaneous infusion of pituitary-derived chicken growth hormone on growth performance of broiler pullets. *Poultry science* 68(8):1133-1140.
- Cui H, Zhang C, Li C, & Lin L. 2019. Antibacterial mechanism of oregano essential oil. *Industrial Crops and Products*, 139, 111498.
- Dunford T, Silva R. 2005. Effect of water stress on plant growth and thymol and carvacrol concentrations in Mexican oregano grown under controlled conditions. *Journal of Applied Horticulture* 7:20-22.

- Eler G, Gomes AV, Trindade BS, Almeida LS, Dilelis F, Cardoso VS, Lima CA. 2019. Oregano essential oil in the diet of broilers: performance, carcass characteristics, and blood parameters. *South African Journal of Animal Science* 49(4):753-762.
- Esquivel-Hernandez Y, Ahumada-Cota RE, Attene-Ramos M, Alvarado CZ, Castañeda-Serrano P, Nava GM. 2016. Making things clear: Science-based reasons that chickens are not fed growth hormones. *Trends in Food Science & Technology* 51:106-110.
- Estévez M, Ventanas S, & Cava R. 2006. Effect of natural and synthetic antioxidants on protein oxidation and colour and texture changes in refrigerated stored porcine liver pâté. *Meat science*,74(2), 396-403.
- Fletcher DL. 2002. Poultry meat quality. *World's Poultry Science Journal* 58(2):131-145.
- Forte C, Branciarri R, Pacetti D, Miraglia D, Ranucci D, Acuti G, Balzano M, Frega NG, Trabalza-Marinucci, M. 2018. Dietary oregano (*Origanum vulgare* L.) aqueous extract improves oxidative stability and consumer acceptance of meat enriched with CLA and n-3 PUFA in broilers. *Poultry science*, 97(5), 1774-1785.
- Gadde U, Kim H, Oh S, Lillehoj H. 2017. Alternatives to antibiotics for maximizing growth performance and feed efficiency in poultry: A review. *Animal Health Research Reviews* 18:26-45.
- Gaggìa F, Mattarelli P, Biavati B, 2010. Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production. *International journal of food microbiology* 141:S15-S28.
- Gámez-Piñón J, Rentería M, Durán M, Chávez A, Alarcón R, Aguilar, Silva V. 2015. Efecto del aceite esencial de orégano en el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la carne de pollo. *Investigación y Ciencia* 23:5-11.
- Giannenas I, Bonos E, Filliouis G, Stylianaki I, Kumar P, Lazari D, Christaki E, Florou-Paneri P. 2019. Effect of a polyherbal or an arsenic-containing feed additive on growth performance of broiler chickens, intestinal microbiota, intestinal morphology, and lipid oxidation of breast and thigh meat. *The Journal of Applied Poultry Research* 28(1):164-175.
- González N, Barbeito C. 2014. *Histología de las aves*. Universidad Nacional de La Plata, Buenos aires, Argentina, pp 187-190

- Gutiérrez-Castro LL, Corredor-Matus JR. 2017. Evaluation of blood parameters and immune response in broilers fed with probiotics. *Veterinaria y Zootecnia* 11(2):81-92.
- Harvey S. 2013. Growth hormone and growth? *General and comparative endocrinology* 190:3-9.
- He XJ, Hao DD, Liu CH, Zhang X, Xu DD, Xu XN, Wang JF, Wu R. 2017. Effect of supplemental oregano essential oils in diets on production performance and relatively intestinal parameters of laying hens. *American Journal of Molecular Biology* 7:73-85.
- Hernández-Coronado AC, Silva-Vázquez R, Rangel-Nava ZE, Hernández-Martínez CA, Kawas-Garza JR, Hume ME, Méndez-Zamora G. et al. 2019. Mexican oregano essential oils given in drinking water on performance, carcass traits, and meat quality of broilers. *Poultry Science* 98:3050-3058.
- Hong C, Steiner T, Aufy A, Lien F. 2012. Effects of supplemental essential oil on growth performance, lipid metabolites and immunity, intestinal characteristics, microbiota and carcass traits in broilers. *Livestock Science* 144:253-262.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2018. Compendio de Información Geográfica Municipal. [Online]. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. PIB y Cuentas Nacionales [Online]. <https://www.inegi.org.mx/temas/pib/>
- Iqbal Z, Drake K, Swick R, Perez-Maldonado R, Ruhnke I. 2019. Feed particle selection and nutrient intake altered by pecking stone consumption and beak length in free-range laying hens. *Animal Nutrition* 5(2):140-147.
- Kapczynski DR., Afonso CL, & Miller PJ. 2013. Immune responses of poultry to Newcastle disease virus. *Developmental & Comparative Immunology*, 41(3), 447-453.
- Kim JJ, & Khan WI. 2013. Goblet cells and mucins: role in innate defense in enteric infections. *pathogens*, 2(1), 55-70.
- Kim YS, Ho SB. 2010. Intestinal goblet cells and mucins in health and disease: recent insights and progress. *Current gastroenterology reports* 12(5):319-330.

- Kim W, Lillehoj H. 2019. Immunity, immunomodulation, and antibiotic alternatives to maximize the genetic potential of poultry for growth and disease response. *Animal Feed Science and Technology* 250:41-50.
- Kubota A, Kobayashi M, Sarashina S, Takeno R, Okamoto K, Narumi K, Ayako F, Yuji S, Natsuko T, Iseki K. 2018. Reishi mushroom *Ganoderma lucidum* Modulates IgA production and alpha-defensin expression in the rat small intestine. *Journal of ethnopharmacology* 214:240-243.
- Küçüközet AO, & Uslu MK. 2018. Cooking loss, tenderness, and sensory evaluation of chicken meat roasted after wrapping with edible films. *Food Science and Technology International*, 24(7), 576-584.
- Kogut MH. 2013. The gut microbiota and host innate immunity: regulators of host metabolism and metabolic diseases in poultry *Journal of Applied Poultry Research*, 22(3), 637-646.
- Kogut MH, 2019. The effect of microbiome modulation on the intestinal health of poultry. *Animal feed science and technology* 250:32-40.
- Liu D, Song M, Yun W, Lee J, Lee C, Kwak W, Oh H, Cho JH. 2019. Effects of oral administration of various essential oils on blood metabolites, intestine development, microbial enumeration and meat quality in broilers. *Indian Journal of Animal Research* 53(6):762-767.
- Lorenzo JM, Munekata ES, Baldin JC, Franco D, Domínguez R, Trindade MA, Tindade M. 2017. The use of natural antioxidants to replace chemical antioxidants in foods. *Strategies for Obtaining Healthier Foods*; Lorenzo, JM, Carballo, FJ, Eds, 205-228.
- Luna A, Tarifa M, Fernandez M, Caliva J, Pellegrini S, Zygadlo J, Marin R. 2018. Thymol, alpha tocopherol, and ascorbyl palmitate supplementation as growth enhancers for broiler chickens. *Poultry science* 98(2):1012-1016.
- Mahmoud A, Abdel-Mohsein S. 2019. Hysterical tetracycline in intensive poultry farms accountable for substantial gene resistance, health and ecological risk in Egyptian manure and fish. *Environmental Pollution* 255:113039.
- Meilgaard C, Civille G, Carr B. 2006. *Sensory evaluation techniques*. 4th ed. Boca Raton, FL: CRC Press.

- Mehdi Y, Létourneau-Montminy P, Gaucher L, Chorfi Y, Gayatri S, Rouissi T. 2018. Use of antibiotics in broiler production: global impacts and alternatives. *Animal Nutrition* 4:170-178.
- Méndez-Zamora G, García M, Santellano E, Durán-Meléndez LA, Silva-Vazquez R. 2015b. Aceite de orégano sobre la calidad de pechuga de pollos de engorda. *Investigación y Ciencia* 65:5-12.
- Méndez-Zamora G, Durán-Meléndez LA, Hume ME, Silva-Vázquez R. 2017. Performance, blood parameters, and carcass yield of broiler chickens supplemented with Mexican oregano oil. *Revista Brasileira de Zootecnia* 46:515-520.
- Menkem Z, Ngangom B, Tamunjoh S, Boyom F. 2019. Antibiotic residues in food animals: Public health concern. *Acta Ecologica Sinica* 39:411-415.
- Migliorini M, Boiago M, Lenita M, Zampar S, Rozaa L, Barreta M, Arno A, Robazza W, Giuriattia J, Galvão A, Boscatto C, Paiano D, Da Silva A, Tavernaric F. 2019. Oregano essential oil in the diet of laying hens in winter reduces lipid peroxidation in yolks and increases shelf life in eggs. *Journal of Thermal Biology* 85:1-7
- Mohamed HM, & Mansour HA 2012. Incorporating essential oils of marjoram and rosemary in the formulation of beef patties manufactured with mechanically deboned poultry meat to improve the lipid stability and sensory attributes. *LWT-Food Science and Technology*,45(1), 79-87.
- Mohammadi A, Ghazanfari S, Sharifi S. 2019. Comparative effects of dietary organic, inorganic, and Nano-selenium complexes and rosemary essential oil on performance, meat quality and selenium deposition in muscles of broiler chickens. *Livestock Science* 226:21-30.
- Moraes-Lovison, M, Marostegan LF, Peres MS, Menezes IF, Ghiraldi M, Rodrigues RA, Fernandes AM, Pinho SC. 2017. Nanoemulsions encapsulating oregano essential oil: Production, stability, antibacterial activity and incorporation in chicken pâté. *LWT*,77, 233-240.
- Moraes PO, Cardinal KM, Gouvêa FL, Schroeder B, Ceron MS, Lunedo R, Ribeiro AM. 2019. Comparison between a commercial blend of functional oils and monensin on the performance and microbiota of coccidiosis-challenged broilers. *Poultry science* 98(11):5456-5464.

- Nahed A, Shewita RS, Abd El-Hack ME, AlKahtane A, Alarifi S, Alkahtani S, Abdel-Daim MM, Sedeik ME. 2020. Effect of essential oils on the immune response to some viral vaccines in broiler chickens, with special reference to Newcastle disease virus. *Poultry Science*, 99(6), 2944-2954.
- NOM-033- SAG/ZOO-2014. 2014. Norma Oficial Mexicana. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. [Online]. <http://www.economianoms.gob.mx/noms/consultasAction.do>
- NOM-062-ZOO-1999, 1999. Norma oficial Mexicana, especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio. [Online]. <http://www.economianoms.gob.mx/noms/consultasAction.do>
- North K, Dalle Zotte A, Hoffman C. 2019. The use of dietary flavonoids in meat production: a review. *Animal Feed Science and Technology* 114291.
- NRC. 1994. National Research Council. Nutritional requirements of poultry. 9th ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Ortega-Nieblas M, Robles-Burgueño M, Acedo-Félix E, González-León A, Morales-Trejo A, Vázquez-Moreno L. 2011. Chemical composition and antimicrobial activity of oregano (*Lippia palmeri* S. WATS) essential oil. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34:11-17.
- Oso O, Suganthi U, Reddy M, Malik K, Thirumalaisamy G, Awachat B, Selvaraju S, Arangasamy A, Bhatta R. 2019. Effect of dietary supplementation with phyto-genic blend on growth performance, apparent ileal digestibility of nutrients, intestinal morphology, and cecal microflora of broiler chickens. *Poultry Science* 98(10):4755-4766.
- Paraskeuas V, Mountzouris K. 2019. Broiler gut microbiota and expressions of gut barrier genes affected by cereal type and phyto-genic inclusion. *Animal nutrition* 5(1):22-31.
- Park JH, Kang NS, Chu MG, Jin KS. 2014. Growth performance, blood cell profiles, and meat quality properties of broilers fed with *Saposhnikovia divaricata*, *Lonicera japonica*, and *Chelidonium majus* extracts. *Livestock Science* 165:87-94.

- Park JH, Kim IH. 2018. Effects of a protease and essential oils on growth performance, blood cell profiles, nutrient retention, ileal microbiota, excreta gas emission, and breast meat quality in broiler chicks. *Poultry science* 97(8):2854-2860.
- Peng Q, JD Li, Z Li, Duan ZY, Wu YP. 2016. Effects of dietary supplementation with oregano essential oil on growth performance, carcass traits and jejunal morphology in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology* 214:148-153.
- Popova T. 2017. Effect of probiotics in poultry for improving meat quality. *Current opinion in food science* 14:72-77.
- Reis H, Gebert R, Barreta M, Baldissera D, dos Santos I, Wagner R, Campigotto G, Jaguezeski A, Gris A, de Lima J, Fracasso M, Boiago M, Stefani L, dos Santos D, Mendes R. 2018. Effects of phytogenic feed additive based on thymol, carvacrol and cinnamic aldehyde on body weight, blood parameters and environmental bacteria in broilers chickens. *Microbial pathogenesis* 125:168-176.
- Reyer H, Zentek J, Männer K, Youssef MI, Aumüller T, Weghuber J, Wimmers K, Müller A. 2017. Possible molecular mechanisms by which an essential oil blend from star anise, rosemary, thyme, and oregano and saponins increase the performance and ileal protein digestibility of growing broilers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65(32):6821-6830.
- Rodriguez-Ramirez HG, Soto-Dominguez A, González GM, Barboza-Quintana O, Salinas-Carmona MC, Ceceñas-Falcon LA, Rosas-Taraco AG. 2018. Inflammatory and Anti-inflammatory Responses Co-exist Inside Lung Granuloma of Fatal Cases of Coccidioidomycosis: A Pilot Report. *Mycopathologia* 183(4):709-716.
- Röhe I, Boroojeni G, & Zentek J. 2017. Effect of feeding soybean meal and differently processed peas on intestinal morphology and functional glucose transport in the small intestine of broilers. *Poultry Science*, 96(11), 4075-4084.
- Ronquillo M, Hernandez A. 2017. Antibiotic and synthetic growth promoters in animal diets: review of impact and analytical methods. *Food Control* 72:255-267.
- Rose S P. 1997. *Principios de la ciencia avícola*. Ed. Acribia. S.A. Zaragoza-España.
- Ross M, Pawlina W. *Histología. Texto y atlas color con biología celular y molecular*. 7a.ed. Wolters Kluwe; New York 2015.p.642-644.

- Sánchez-Zamora N, Silva-Vázquez R, Nava ZE, Hernández-Martínez CA, Kawas-Garza, JR, Hume ME, Herrera-Balandrano DD, Méndez-Zamora G. 2019. Inulina de agave y aceite de orégano mejoran la productividad de pollos de engorda. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 6(18):523-534
- SAS Institute Inc. 2006. SAS/STAT user's guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA
- Scanes CG. 2010. Hormones and growth in domestic animals. *Comprehensive physiology* 20(2):99-127.
- Shirani V, Jazi V, Toghyani M, Ashayerizadeh A, Sharifi F, Barekatin R. 2019. Pulicaria gnaphalodes powder in broiler diets: consequences for performance, gut health, antioxidant enzyme activity, and fatty acid profile. *Poultry science* 98(6):2577-2587.
- Shen MM, Zhang LL, Chen YN, Zhang YY, Han HL, Niu HT, He YI, Zhang Y, Cheng LY, Wang, T. 2019. Effects of bamboo leaf extract on growth performance, meat quality, and meat oxidative stability in broiler chickens. *Poultry Science* 98(12):6787-6796.
- SIAP-Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera Acciones y Programas-Producción Ganadera 2018 [Online]. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/
- Silva Vázquez R, Durán Meléndez LA, Santellano Estrada E, Rodríguez Muela C, Villalobos Villalobos G, Méndez Zamora G, Hume ME. 2015. Performance of broiler chickens supplemented with Mexican oregano oil (*Lippia berlandieri* Schauer). *Revista Brasileira de Zootecnia* 44:283-289.
- Silva R, and Dunford N. 2005. Bioactive components of Mexican Oregano oil as affected by moisture and plant growth. *Journal of Essential Oil Research* 17:668-671.
- Silva-Vázquez R, Duran-Melendez LA, Mendez-Zamora G, Estrada ES, Xie M, Dunford NT, Goad C. 2017. Antioxidant activity of essential oils from various Mexican oregano ecotypes and oil fractions obtained by distillation. *JSM Chemistry* 5(3): 1046.
- Silva-Vázquez R., Duran-Meléndez LA, Hernández-Martínez CA, Gutiérrez-Soto JG, Hume ME, Méndez-Zamora G. 2018. Effects of two sources of Mexican oregano

- oil on performance, blood profile, carcass variables, and meat of broilers. *Revista Brasileira de Zootecnia* 47:515-520.
- Sisson S, Grossman J.D. 1982. *Robert Getty Anatomía de los animales domésticos*. Quinta Edición. Barcelona: Salvat Editores, S.A
- Sosa M, Martínez E, Espinosa J, Buendía G. 2017. Contribución del sector pecuario a la economía mexicana. Un análisis desde la Matriz Insumo Producto. *Revista mexicana de ciencias pecuarias* 8(1):31-41.
- Stephany R. 2010. Hormonal growth promoting agents in food producing animals. In *Doping in sports: Biochemical principles, effects and analysis*. Springer, Berlin, Heidelberg (195):355-367.
- Stevanović ZD, Bošnjak-Neumüller J, Pajić-Lijaković I, Raj J, Vasiljevic M. 2018. Essential oils as Feed Additives-Future Perspectives. *Molecules* 23(7) 1717
- Sugiharto S, Ranjitkar S. 2018. Recent advances in fermented feeds towards improved broiler chicken performance, gastrointestinal tract microecology and immune responses: A review. *Animal nutrition* 5(1):1-10.
- Tauer S, Holt J, Underwood K, Levesque C, Thaler R. 2019. Performance, Histology, and Meat Quality of Coccidiosis-Challenged Broilers Fed Essential Oils. *Meat and Muscle Biology* 3(1):13-21.
- Tekce E, Çınar K, Bayraktar B, Takma Ç, Gül M. 2019. Effects of an essential oil mixture added to drinking water for temperature-stressed broilers: performance, meat quality, and thiobarbituric acid-reactive substances. *The Journal of Applied Poultry Research* 29(1), 77-84.
- The World Bank-IBRD*IDA- Mexico 2019 [Online]. Disponible en:<https://data.worldbank.org/country/mexico>
- Toghyani M, Gheisari A, Ghalamkari G, Eghbalsaied S. 2011. Evaluation of cinnamon and garlic as antibiotic growth promoter substitutions on performance, immune responses, serum biochemical and hematological parameters in broiler chicks. *Livestock Science* 138:167-173.
- Toomer OT, Livingston ML, Wall B, Sanders E, VuTC, Malheiros RD, Livingston KA, Carvalho LV, Ferket PR. 2019. Meat quality and sensory attributes of meat

- produced from broiler chickens fed a high oleic peanut diet. *Poultry science*, 98(10), 5188-5197.
- Upadhaya SD, Cho SH, Chung TK, Kim IH. 2019. Anti-coccidial effect of essential oil blends and vitamin D on broiler chickens vaccinated with purified mixture of coccidian oocyst from *Eimeria tenella* and *Eimeria maxima*. *Poultry science* 98(7):2919-2926.
- USDA-FAS. Mexico Poultry and Products Semi-annual: Mexican Poultry Sector Continues its Steady Growth From AI. 2019. [Online]. Disponible en: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Poultry%20and%20Products%20Semi-annual_Mexico%20City_Mexico_3-19-2019.pdf
- Vázquez BI, Fente C, Franco CM, Vázquez MJ, and Cepeda A. 2001. Inhibitory effects of eugenol and thymol on *Penicillium citrium* strains in culture media and cheese. *International Journal of Food Microbiology* 67: 157-163.
- Van der Aar PJ, Molist FV, Van Der Klis D. 2017. The central role of intestinal health on the effect of feed additives on feed intake in swine and poultry. *Animal feed science and technology* 233:64-75.
- Van TH, Yidana Z, Smooker PM, Coloe PJ. 2019. Antibiotic Use in Food Animals in the World with Focus on Africa: Pluses and Minuses. *Journal of global antimicrobial resistance* 20, 170-177.
- Wan XL, Song ZH, Niu Y, Cheng K, Zhang JF, Ahmad H, Zhang LL, Wang, T. 2017. Evaluation of enzymatically treated *Artemisia annua L.* on growth performance, meat quality, and oxidative stability of breast and thigh muscles in broilers. *Poultry Science*, 96(4), 844-850.
- Wang Z, Goonewardene L. 2004. The use of MIXED models in the analysis of animal experiments with repeated measures data. *Canadian Journal of Animal Science* 84:1-12.
- Witkowska D, Sowińska J, Murawska D, Matusevičius P, Kwiatkowska-Stenzel A, Mituniewicz T, Wójcik A. 2019. Effect of peppermint and thyme essential oil mist on performance and physiological parameters in broiler chickens. *South African Journal of Animal Science* 49(1):29-39.

- Xiong W, Sun Y, Zeng Z. 2018. Antimicrobial use and antimicrobial resistance in food animals *Environ Science Pollution Research* 25:18377-18384.
- Yanagibashi T, Hosono A, Oyama A, Tsuda M, Suzuki A, Hachimura S, Yoshimasa T, Yoshika M, Kikuji I, Kazuhiro H, Kyoko T, Takahashi K. 2013. IgA production in the large intestine is modulated by a different mechanism than in the small intestine: *Bacteroides acidifaciens* promotes IgA production in the large intestine by inducing germinal center formation and increasing the number of IgA+ B cells. *Immunobiology* 218(4):645-651.
- Yang X, Xin H, Yang C, Yang X. 2018. Impact of essential oils and organic acids on the growth performance, digestive functions and immunity of broiler chickens. *Animal nutrition* 4(4):388-393.
- Yan L, An S, Lv Z, Wang Z, Wu Y, Zhu Y, Guo Y. 2019. Effects of phytonutrients on growth performance, antioxidative status, and energy utilization of broilers fed low energy diets. *Animal Nutrition* 5:270-277.
- Yang X, Liu Y, Yan F, Yang C, Yang X. 2019. Effects of encapsulated organic acids and essential oils on intestinal barrier, microbial count, and bacterial metabolites in broiler chickens. *Poultry Science* 98(7):2858-2865.
- Zeng Z, Zhang S, Wang H, Piao X. 2015. Essential oil and aromatic plants as feed additives in non-ruminant nutrition: a review. *Journal of animal science and biotechnology* 6(1):1-10.
- Zhang S, Shen R, Wu S, Xiao Q, He, Shi R. 2019. The dietary combination of essential oils and organic acids reduces *Salmonella enteritidis* in challenged chicks. *Poultry Science* 98(12):6349-6355.