

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



UANL

**ACEITE DE ORÉGANO EN LAS FASES DE PRODUCCIÓN DE POLLOS DE
ENGORDA PARA EVALUAR SU PRODUCTIVIDAD**

Por

M.C. JUDITH ALEJANDRA SOTO CUEVAS

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIA ANIMAL**

JUNIO 2026



UANL

**ACEITE DE ORÉGANO EN LAS FASES DE PRODUCCIÓN DE POLLOS DE
ENGORDA PARA EVALUAR SU PRODUCTIVIDAD**

APROBACIÓN DE LA TESIS

**D.Ph. GERARDO MÉNDEZ ZAMORA
DIRECTOR DE TESIS**

**Ph.D. JORGE R. KAWAS GARZA
CODIRECTOR DE TESIS**

**Dr. ADOLFO SOTO DOMÍNGUEZ
CODIRECTOR DE TESIS**

**Dra. DANIELA SARAÍ RICO COSTILLA
CODIRECTORA DE TESIS**

**Dr. VÍCTOR E. AGUIRRE ARZOLA
CODIRECTOR DE TESIS**

**Dr. UZIEL CASTILLO VELÁZQUEZ
SUBDIRECTOR DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



UANL

**ACEITE DE ORÉGANO EN LAS FASES DE PRODUCCIÓN DE POLLOS DE
ENGORDA PARA EVALUAR SU PRODUCTIVIDAD**

Este trabajo fue realizado en los laboratorios de Nutrición Animal y Microbiología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Biotecnología, Ingeniería y Biotecnología Microbiana de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, bajo la Dirección del D.Ph. Gerardo Méndez Zamora y la Codirección del Ph.D. Jorge R. Kawas Garza.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "G. Méndez Zamora", is written above a horizontal line.

**D.Ph. GERARDO MÉNDEZ ZAMORA
DIRECTOR DE TESIS**

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "J. Kawas Garza", is written above a horizontal line.

**Ph.D. JORGE R. KAWAS GARZA
CODIRECTOR EXTERNO DE TESIS**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Facultad de Agronomía por ser mi casa durante mi formación de posgrado, por siempre darme las posibilidades de seguir creciendo académica y personalmente, por las instalaciones para la experimentación en campo y el uso de los laboratorios.

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por la oportunidad de ser parte del posgrado en conjunto, por todo el aprendizaje y las instalaciones que me fueron brindada durante mi doctorado, sin duda es un sueño poder decir que tomé clase en sus aulas, que trabajé en sus laboratorios y que soy egresada de esta bella institución.

Al Campus Marín de la Facultad de Agronomía, por abrirme las puertas cada uno de los tres años que estuve realizando trabajos en el área de producción avícola, por las instalaciones y por ser mi casa durante los experimentos en campo.

Al Ph. D. Gerardo Méndez Zamora por siempre tener fe en mí y en mi trabajo, por su apoyo, pero principalmente por su amistad y palabras de aliento cuando yo sentía que no podía más, por quitarme el “no sé” o “no puedo” de mi vocabulario.

A mi comité de tesis que cada uno de ellos se involucró en esta investigación y puso su granito de arena para que este proyecto tuviera el sustento científico.

A mi familia, mis padres y mis hermanos por su apoyo en estas etapas académicas.

Agradezco a la empresa MNA de México por todas las facilidades en este experimento.

Además, agradezco a mis 700 pollitos que me acompañaron estos tres años, gracias a su vida y el tiempo que compartimos, fueron mis más grandes maestros quiénes siempre me enseñaron la realidad y me salvaron la vida.

DEDICATORIA

A Dios por darme una segunda oportunidad, por darme todos los días la fortaleza para salir adelante, creer en mis capacidades y nunca soltarme de su mano.

A mis padres y mi familia por apoyarme en cada una de mis metas, por siempre alentarme a seguir adelante para poder culminar con este logro académico y estar al pie del cañón en mis días en Marín y hasta en los finales de experimento.

A mis amigas por siempre estar para mí cuando más las necesité, por siempre ayudarme y echarme porras a pesar de no estar completamente bien.

A mis profesores que me ayudaron a desarrollar mis habilidades en un lugar donde creía no encajar.

A mi Deyby que llegó en el momento que menos esperaba, que con su amor y cariño me ayudó a sanar cosas que el niquiera había dañado, por ser un equipo dese el primer día y por siempre ser un alma bondadosa, comprensiva que vino a llenar mi vida de felicidad.

A BTS por ser una motivación para seguir adelante, en mis momentos más oscuros, en los días más cansados de tráfico siempre su música me ayudó a encontrar la paz que tanto necesitaba.

Y por último a Judith del 2023, quién inició este camino sin saber lo maravillosa que sería la vida *si decides soltar y avanzar*, te abrazo y con mucho orgullo te digo.. LO LOGRAMOS!

“Todo lo bueno y perfecto que se nos da, viene de arriba, de Dios que creó los astros del cielo. Dios es siempre el mismo: en él no hay variaciones ni oscurecimientos”

Santiago 1:17

ÍNDICE

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURA	VIII
LISTA DE TABLAS.....	X
LISTA DE FIGURAS	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XVI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. PRODUCCIÓN AVÍCOLA	3
2.2. ACEITES ESENCIALES	5
2.3. EL ORÉGANO Y SUS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	7
2.4. CARACTERÍSTICAS DEL ACEITE DE ORÉGANO.....	8
2.5. ACEITE DE ORÉGANO EN LA NUTRICIÓN ANIMAL	10
3. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	12
4. HIPÓTESIS.....	13
5. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	13
5.1. OBJETIVO GENERAL	13
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
6.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO	14
6.2. DISEÑO EXPERIMENTAL	14
6.3. DIETAS.....	15
6.4. VARIABLES PRODUCTIVAS	16
6.5. VARIABLES DE LA CARNE AL SACRIFICIO	18
6.6. VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS DE LA CARNE DE PECHUGA.....	19
6.7. ANÁLISIS DE TEXTURA	20
6.8. ANÁLISIS SENSORIAL	22
6.9. HISTOLOGÍA DEL TEJIDO INTESTINAL (ÍLEON).....	23
6.10. ANÁLISIS QUÍMICO DEL ALIMENTO Y CARNE	24
6.11. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE.....	25
6.12. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	26

6.13.	CONSIDERACIONES ÉTICAS Y DE BIOSEGURIDAD	27
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
7.1.	PESO DE LOS POLLOS.....	28
7.2.	GANANCIA DE PESO.....	29
7.3.	CONSUMO DE ALIMENTO	30
7.4.	CONSUMO DE AGUA.....	31
7.5.	EFICIENCIA ALIMENTICIA CON BASE AL CAL Y CAG.....	32
7.6.	CONSUMO DE ALIMENTO Y AGUA GLOBAL POR FASE.....	34
7.7.	EFICIENCIA ALIMENTICIA GLOBAL POR FASE.....	35
7.8.	PRODUCTIVAD GLOBAL-TOTAL EN 41 DÍAS.....	37
7.9.	RENDIMIENTO DE LA CARNE	38
7.10.	VARIABLES FISICOQUÍMICAS	39
7.11.	ANÁLISIS DE TEXTURA	42
7.12.	EVALUACIÓN SENSORIAL	43
7.13.	COMPOSICIÓN DE LA PECHUGA DE POLLO POR FASES	44
7.13.1.	Iniciación	44
7.13.2.	Desarrollo.....	45
7.13.3.	Finalización	46
7.14.	MORFOLOGÍA INTESTINAL.....	47
7.15.	CORRELACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA PECHUGA CON LA MORFOLOGÍA INTESTINAL.....	50
7.16.	CAPACIDAD ANTIOXIDANTE	51
7.17.	CORRELACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA CARNE CON LAS VELLOSIDADES Y CAPACIDAD ANTIOXIDATE	53
7.18.	CORRELACIONES ESPECÍFICAS ENTRE LA COMPOSICIÓN Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE.....	54
8.	CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.....	56
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURA

SÍMBOLO ABREVIATURA	O DESCRIPCIÓN
AE	Aceite esencial
AF	Agentes fitogénicos
AO	Aceite de orégano
AOM	Aceite de orégano mexicano
APT	Análisis de perfil de textura
cm	Centímetros
CAG	Consumo de agua
CAL	Consumo de alimento
CRA	Capacidad de retención de agua
CO ₂	Dióxido de carbono
EA	Eficiencia alimenticia
FC	Fuerza de corte
°C	Grados Celsius
GP	Ganancia de peso
g	Gramos
g/kg	Gramos sobre kilogramo
g/mm	Gramos sobre milímetro
g/s	Gramos sobre segundo
h	Horas
H ₀	Hipótesis nula
H _a	Hipótesis alterna
kg	Kilogramos
L	Litros
µm	Micrómetros
µL	Microlitros
mL	Mililitros
mm	Milímetros
nm	Nanómetros

ONU	Organización de las Naciones Unidas
PIP	Peso inicial de pollos
PP	Peso pollos
PPC	Pérdida por cocción
pH	Potencial de hidrógeno
%	Porcentaje
RC	Rendimiento de canal
RC _{CAL}	Rendimiento de canal caliente
RC _{FRI}	Rendimiento de canal fría
RP	Rendimiento de pechuga
rpm	Revoluciones por minuto
ton	Toneladas

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Producción nacional (toneladas) de carne (pollo) en México de 2022 a 2024.	4
Tabla 2. Principales compuestos de distintos tipos de AE de diferentes plantas aromáticas.	6
Tabla 3. Composición de las dietas suplementadas con AO en las fases de producción.	16
Tabla 4. Métodos de análisis de muestras de alimento y carne.	24
Tabla 5. Comportamiento de peso en pollos (kg) de engorda suplementados con AO mexicano durante las diferentes fases de producción.	28
Tabla 6. Ganancia de peso corporal (kg) semanal de pollos de engorda suplementados con AO durante las diferentes fases de producción.	29
Tabla 7. Consumo de alimento (kg) en pollos suplementados con AO durante las diferentes fases de producción.	30
Tabla 8. Consumo de agua (L) en pollos suplementados con AO durante las diferentes fases de producción.	31
Tabla 9. Eficiencia alimenticia con base al consumo de alimento y agua en pollos suplementados con AO mexicano durante las diferentes fases de producción.	32
Tabla 10. Productividad global del consumo de alimento y agua en pollos suplementados con AO durante las diferentes fases de producción.	34
Tabla 11. Eficiencia alimenticia global con base al consumo de alimento y agua en pollos suplementados con AO durante las diferentes fases de producción.	35
Tabla 12. Tasa de conversión alimenticia con base al consumo de alimento en pollos suplementados con AO durante las diferentes fases de producción.	37
Tabla 13. Producción de carne de los pollos suplementados con AO en las diferentes semanas de engorda.	38
Tabla 14. pH, retención de agua y pérdida por cocción de carne de pechugas de pollo suplementados con AO en sus semanas de producción.	39
Tabla 15. Efecto del AO sobre los parámetros de color de la carne de las pechugas de pollo en las etapas de producción.	41
Tabla 16. Análisis de textura de la carne de pechugas de pollos suplementados con AO en las diferentes etapas de su producción.	42
Tabla 17. Atributos sensoriales de la carne de pechuga de pollos de engorda suplementados con AO en las etapas de producción.	43

Tabla 18. Composición química (%) de las pechugas de pollo de la fase de iniciación de pollos suplementados con AO.....	44
Tabla 19. Composición química (%) de las pechugas de pollo de la fase de desarrollo de pollos suplementados con aceite de AO.....	45
Tabla 20. Composición química (%) de las pechugas de pollo de la fase de finalización de pollos suplementados con AO.....	46
Tabla 21. Morfología intestinal del íleon (μm) de pollos de engorda suplementados con AO en la fase de finalización.	49
Tabla 22. Análisis de correlación entre la pechuga y morfología intestinal de pollos de engorda suplementado con AO en las fases de producción.	51
Tabla 23. Capacidad antioxidante de pechugas de pollo suplementados con AO en la fase de finalización.	52
Tabla 24. Análisis de correlación de Pearson entre la composición química, morfología intestinal y capacidad antioxidante de pechugas de pollo.	53
Tabla 25. Análisis de correlación de Pearson entre la composición química y efecto del AO como antioxidante en pechugas de pollo.	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Objetivos del desarrollo sostenible aplicables en la producción avícola.....	3
Figura 2. Variedades más importantes de orégano en la nutrición animal, gastronomía y medicina.	8
Figura 3. Configuración molecular de los compuestos fenólicos [a) timol; b) carvacrol].....	9
Figura 4. Efectos del AO como suplemento en las dietas animales.	11
Figura 5. Periodo de adaptación de los pollos de un día de edad.	15
Figura 6. Recolección de datos de ganancia de peso por corral.	17
Figura 7. Preparación de la canal de pollo y separación de la pieza de interés (pechuga).	18
Figura 8. Análisis de pérdida por cocción a pechugas de pollo suplementadas con AO.	20
Figura 9. Muestras de pechuga adaptadas al texturómetro para el análisis de textura.	21
Figura 10. Acomodo de muestras y evaluadores en el análisis sensorial de pechuga de pollo suplementados con AO.	22
Figura 11. Medición de vellosidades del íleon de los pollos de engorda.	24
Figura 12. Muestras de pechuga de pollo suplementadas con AO para los análisis de composición química y capacidad antioxidante.	26
Figura 13. Histología del íleon de pollos de engorda suplementados con AO en la fase de finalización. Amplificación: 4x.	48

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la suplementación del aceite de orégano mexicano (AOM) en dietas de pollos de engorda Ross-308 en cada una de sus etapas de producción, así como su influencia en la histología intestinal, producción de carne, su fisicoquímica y composición, capacidad antioxidante, textural, sensorial y correlación de variables. Un total de 300 pollos fueron asignados al azar en cinco tratamientos con seis réplicas cada uno (corrales; 10 pollos por corral), los cuales se basaron en las fases de producción [iniciación: semana 1 (7 d) y 2 (14 d); desarrollo: semana 3 (21 d) y 4 (28 d); finalización: semana 5 (35 d) y 6 (41 d)]: AOM₀, dieta control sin AOM (0 mg/kg); AOM₁₂, dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄, dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆, dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆, dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. El aceite de orégano (AO) utilizado fue de la especie *Lippia berlandieri* Schauer. Los parámetros productivos de los pollos de engorda mejoraron en las fases de iniciación y desarrollo (AOM₁₂ y AOM₃₄). En peso de pollo y ganancia de peso no se encontraron efecto ($P > 0.05$) de los tratamientos. Los pollos del grupo AOM₁₆ consumieron menos ($P < 0.05$) alimento (CAL) a los 14 y 28 días. En consumo de agua (CAG) no se obtuvo diferencia ($P > 0.05$) por efecto de los tratamientos, pero AOM₃₄ presentó un CAL y CAG bajos, con mejor peso corporal. Los grupos experimentales no afectaron ($P > 0.05$) la eficiencia alimenticia (EA) con base al consumo de alimento (EA_{CAL}) y agua (EA_{CAG}), pero el grupo AOM₁₂ presentó mejor EA_{CAL} y AOM₃₄ mejoró la EA_{CAG}. En la productividad global por fase, diferencias fueron encontradas en iniciación ($P < 0.05$) y desarrollo ($P < 0.10$) para el CAL, siendo AOM₁₆ con el consumo más bajo, seguido de AOM₃₄ y AOM₅₆. La eficiencia alimenticia global por fase no fue afectada ($P > 0.05$). Para la productividad global-total en 41 días, la EA_{CAL} resultó diferente ($P < 0.05$) entre los tratamientos, siendo AOM₁₆, AOM₅₆ y AOM₃₄ los más eficientes. Por otra parte, el rendimiento de la canal caliente ($P < 0.05$) aumentó para los pollos del grupo AOM₁₆, pero disminuyó en AOM₃₄ (fase de finalización); AOM₁₆ obtuvo el

pH más alto ($P < 0.05$), mientras que AOM₅₆ tuvo la menor ($P < 0.05$) pérdida por cocción. En color, la tendencia al color amarillo y tonalidad disminuyeron en la carne de pechuga pollos suplementados con AO durante todo el experimento; además, el índice de saturación disminuyó en los pollos suplementados con AO durante las semanas 3 y 4 (fase de crecimiento). La fuerza de corte (F_{Corte}) y dureza fueron afectadas ($P < 0.05$) por los tratamientos; AOM₀ tuvo menor F_{Corte} y mayor dureza, mientras que AOM₃₄ obtuvo la menor dureza (más suave). Respecto a lo sensorial ($P < 0.05$), AOM₅₆ presentó la mejor preferencia en la jugosidad y suavidad, seguido de AOM₀ y AOM₃₄. La composición proximal de la carne de pechuga de pollo fue afectada ($P < 0.05$) por los grupos experimentales; la humedad de la carne difirió en la fase de iniciación ($> \text{AOM}_{12}$ y AOM₅₆; $< \text{AOM}_{16}$ y AOM₃₄) y finalización ($> \text{AOM}_{56}$ y AOM₃₄; $< \text{AOM}_0$ y AOM₁₂), mientras que las cenizas resultaron diferentes en la fase de iniciación ($> \text{AOM}_{34}$, AOM₅₆ y AOM₁₆; $< \text{AOM}_0$ y AOM₁₂) y desarrollo ($> \text{AOM}_0$; $< \text{AOM}_{16}$, AOM₃₄, AOM₅₆ y AOM₁₂). La proteína de la carne fue diferente ($P < 0.05$) en la fase de finalización ($> \text{AOM}_0$; $< \text{AOM}_{56}$ y AOM₁₆). La histología del íleon fue afectada ($P < 0.05$) por los tratamientos; el largo (L) de las vellosidades fue más alto en AOM₅₆ y AOM₁₆, pero resultó menor en AOM₀ y AOM₁₂; el ancho y profundidad (P) resultaron ser más altas en AOM₀ y menores en los grupos del AOM; la relación L/P fue menor en AOM₀ y mayor en el resto de los grupos AOM. En la correlación (r), el L y P de la cripta exhibieron una correlación positiva débil ($r = 0.352$) pero significancia ($P = 0.006$); r de la humedad con el largo mostró una correlación positiva pero débil ($r = 0.270$) y significativa ($P = 0.037$), así mismo entre la proteína y largo ($r = -0.275$; $P = 0.035$); también la profundidad de la cripta se correlacionó con la humedad ($r = -0.298$; $P = 0.021$) y proteína ($r = 0.258$; $P = 0.048$). La capacidad antioxidante con ABTS⁺ mejoró ($P < 0.05$) en la carne del grupo AOM₁₆, AOM₃₄ y AOM₅₆, mientras que FRAP ($P < 0.05$) fue alto para AOM₀, AOM₁₂ y AOM₃₄. En la correlación conjunta, la grasa se correlacionó con ABTS⁺ ($r = -0.433$; $P = 0.019$) y FRAP ($r = 0.395$; $P = 0.034$), mientras que FRAP se correlacionó con la humedad ($r = -0.403$; $P = 0.027$) y ancho de la cripta ($r = 0.428$; $P = 0.018$). De manera específica en AOM₀, la proteína tuvo una correlación negativa con ABTS⁺

($r = - 0.884$; $P = 0.019$), y tendencia significativa ($P < 0.10$) entre la proteína con ABTS⁺ en los grupos AOM₅₆ ($r = 0.751$; $P = 0.086$) y AOM₁₆ ($r = 0.734$; $P = 0.097$), asimismo para AOM₀ entre cenizas ($r = - 0.777$; $P = 0.069$) y carbohidratos ($r = 0.761$; $P = 0.079$) con ABTS⁺. Con base a lo anterior se puede concluir que el uso de 100 mg/kg de AO como suplemento en dietas para pollos de engorda se recomienda en las fases de iniciación y crecimiento para mejorar la productividad, calidad de la carne y capacidad antioxidante.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of Mexican oregano essential oil (OEO) supplementation in Ross-308 breed broiler chicken diets at each of their production stages, as well as its influence on intestine histology, meat yield, physicochemical, composition, antioxidant capacity, texture, sensory and correlation of variables. A total of 300 chickens were randomly assigned to five treatments with six replicates each (pens; 10 chickens per pen), which were defined according to production stages [starter: week 1 (7 d) and 2 (14 d); grower: week 3 (21 d) and 4 (28 d); finisher: week 5 (35 d) and 6 (41 d) phases]: OEO₀, control diet without OEO (0 mg/kg); OEO₁₂, diet with oregano oil (100 mg/kg) only in weeks 1 and 2; OEO₃₄, diet with oregano oil (100 mg/kg) only in weeks 3 and 4; OEO₅₆, diet with oregano oil (100 mg/kg) only in weeks 5 and 6; and OEO₁₆, diet with oregano oil (100 mg/kg) from week 1 to week 6. Oregano oil (OO) *Lippia berlandieri* Schauer was used in the experiment. Productive variables of broilers improved on starter and grower (OEO₁₂ and OEO₃₄). Body weight and its gain were not found differences ($P > 0.05$) among treatments. Chickens of OEO₁₆ obtained low feed intake (FI) at 14 and 28 days. Water intake (WI) did not obtain differences ($P > 0.05$) between treatments, but OEO₃₄ gave lows FI and WI, with improved body weight. The experimental groups did not affect ($P > 0.05$) feed efficiency (FE) on base of FI (FE_{FI}) and WI (FE_{WI}), but OEO₁₂ presented improvement on FE_{FI} and OEO₃₄ improved FE_{WI}. Regarding global productivity per phase, differences were found ($P < 0.05$) on starter and grower phases ($P < 0.10$) for FI, being OEO₁₆ with the lowest intake, following OEO₃₄ and OEO₅₆. The global feed efficiency per stage was not affected ($P > 0.05$). Total global productivity at 41 days, FE_{FI} was different ($P < 0.05$) among treatments, where OEO₁₆, OEO₅₆ and OEO₃₄ were the best efficient. On the other hand, hot carcass yield ($P < 0.05$) increased on broilers for OEO₁₆, but decreased for OEO₃₄ (finisher stage); OEO₁₆ obtained the pH higher ($P < 0.05$), while OEO₅₆ gave the lowest ($P < 0.05$) value. On color, yellowness and tonality of broiler breast meat supplemented with OO during experiment; furthermore, saturation index decreased in broilers supplemented with OO at weeks 3 and 4 (grower stage).

Shear force (S_{Force}) and hardness were affected ($P < 0.05$) per treatments; OEO_0 gave the lowest S_{Force} and the highest hardness, while OEO_{34} obtained the lowest hardness (softness). Respect for sensory attributes ($P < 0.05$), OEO_{56} presented the best preference on juiciness and softness, following OEO_0 and OEO_{34} . Proximal composition of broiler breast meat was affected ($P < 0.05$) by experimental groups; meat moisture was different on starter ($> \text{OEO}_{12}$ and OEO_{56} ; $< \text{OEO}_{16}$ and OEO_{34}) and finisher phase ($> \text{OEO}_{56}$ and OEO_{34} ; $< \text{OEO}_0$ and OEO_{12}), while ashes were different on starter ($> \text{OEO}_{34}$, OEO_{56} and OEO_{16} ; $< \text{OEO}_0$ and OEO_{12}) and grower phase ($> \text{OEO}_0$; $< \text{OEO}_{16}$, OEO_{34} , OEO_{56} and OEO_{12}). Meat protein gave differences ($P < 0.05$) on finisher stage ($> \text{OEO}_0$; $< \text{OEO}_{56}$ and OEO_{16}). Ileum intestinal histology was affected ($P < 0.05$) by treatments; villus length (L) was higher for OEO_{56} and OEO_{16} , and lower OEO_0 and OEO_{12} ; villus width and crypt depth (D) were higher for OEO_0 and lower for OEO groups; the L/D ratio was lower for OEO_0 and higher for the other treatments. Regarding correlation (r), L and D of crypt exhibited a r -value positive low ($r = 0.352$) but significant ($P = 0.006$); r of moisture with length shown a low positive value ($r = 0.270$) and significant ($P = 0.037$), likewise r of protein and length ($r = -0.275$; $P = 0.035$); D was correlated with moisture ($r = -0.298$; $P = 0.021$) and protein ($r = 0.258$; $P = 0.048$). Antioxidant capacity with ABTS^+ improved on meat of OEO_{16} , OEO_{34} and OEO_{56} , while FRAP was high for OEO_0 , OEO_{12} and OEO_{34} . Global correlation, fat was correlated with ABTS^+ ($r = -0.433$; $P = 0.019$) and FRAP ($r = 0.395$; $P = 0.034$), while FRAP was correlated with moisture ($r = -0.403$; $P = 0.027$) and D ($r = 0.428$; $P = 0.018$). Specifically, on OEO , protein gave a negative r with ABTS^+ ($r = -0.884$; $P = 0.019$), and significant tendency ($P < 0.10$) between protein with ABTS^+ for OEO_{56} ($r = 0.751$; $P = 0.086$) and OEO_{16} ($r = 0.734$; $P = 0.097$), furthermore for OEO_0 between ashes ($r = -0.777$; $P = 0.069$) and carbohydrates ($r = 0.761$; $P = 0.079$) with ABTS^+ . In conclusion, 100 mg/kg of OEO as supplement in broiler diets can be recommended on starter and grower stages to improve the productivity, meat quality and antioxidant capacity.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la población en el mundo ha causado que incremente la producción en la industria alimentaria. La carne de ave ha incrementado su demanda en los consumidores debido a su alto valor nutricional y comercial; además, el sector avícola ha tenido un crecimiento con la transferencia de tecnología, mejorando la eficiencia productiva, inocuidad y sacrificio (FAOSTAT, 2021). La avicultura es una de las actividades más explotadas en México, considerada una de las mejores industrias transformadoras de proteína vegetal a proteína animal (Rebollar et al., 2019). La dieta de la humanidad se basa en el consumo de proteína de origen animal, y la carne de pollo contiene esta característica; por lo cual ha ido adquiriendo popularidad en el mercado debido a su bajo contenido en grasa y valor proteico elevado (Zhao et al., 2022), que representa el 90% de la demanda de productos para su comercialización. Entre los mayores productores de carne avícola se encuentran Estados Unidos, China, Brasil, y México se encuentra dentro principales productores de carne de pollo (FAO, 2024).

La edad de los pollos se considera un factor importante debido a la absorción de nutrientes, que presentan diversas transiciones entre cada una de las etapas de producción; la fase de iniciación se caracteriza por tener la mayor influencia en la vida del pollo, ya que en los primeros días de vida se puede asegurar una mejora en parámetros de calidad en la producción y carne, resistencia a enfermedades y variables productivas como la ganancia de peso, rendimiento y eficiencia alimenticia (Chang et al., 2017); en la fase de crecimiento se debe asegurar el desarrollo de manera rápida para asegurar una transición a la etapa de engorda o finalización que debe ayudar a preparar a los pollos para cumplir sus características para el tipo de comercialización (Babatunde et al., 2019).

En la actualidad se sabe que los antibióticos pueden causar complicaciones en la salud digestiva, generando toxicidad, resistencia a los antibióticos y causar hipersensibilidad (Jabbar et al., 2021). Debido a esto, alternativas como enzimas, ácidos orgánicos y compuestos fitobióticos se han evaluado en la avicultura

(Bedford, 2000). Con relación a los compuestos fitobióticos, los aceites esenciales (AE) o extractos vegetales de plantas aromáticas han demostrado tener efecto benéfico como alternativa a antibióticos y productividad de aves. Tales efectos se han explicado por su propiedad antioxidante, antifúngica y antimicrobiana; también los AE en la suplementación en dietas de aves han mostrado efectos positivos en la microflora intestinal, enzimas digestivas y sistema inmunológico (Jang et al., 2003); así mismo, reducen bacterias patógenas en el intestino, mejoran el estado antioxidante y reducen el colesterol en sangre (Chowdhury et al., 2018).

En relación, una de las opciones más utilizadas en pollos de engorda es el aceite esencial de orégano (AO) (Alloui et al., 2013). Se ha investigado que el uso del AO en dietas durante 42 días presenta mejoras en el crecimiento (Zhang et al., 2021a), y se ha evaluado su efecto con base al tiempo 14, 28 y 42 días, mostrando producción de anticuerpos similares al uso de antibióticos comerciales (Zaazaa et al., 2022); también se ha mostrado el efecto en algunas variables como la digestibilidad (Nilkanth et al., 2020). Sin embargo, no se ha informado la compatibilidad del aceite en la formulación de las dietas con cada una de las fases productivas; solamente la suplementación a las dietas desde el día 1 hasta los días de finalización que varían entre 41 y 42 (que abarcan todas las etapas); por lo cual esta investigación evaluó la efectividad del uso del AO en las etapas productivas y corroborar si la aplicación en todas las etapas es la mejor opción para esta línea de investigación.

2. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

2.1. PRODUCCIÓN AVÍCOLA

En la ciencia animal existen diferentes especies para la producción de alimento alto en proteína como la carne y sus subproductos; carne de bovino, puerco y pollo que en 2019 mostraron un consumo per cápita de bovino 10.00 kg, cerdo 10.90 kg y pollo 35.00 kg (SIAP, 2019). Respecto al sector avícola, la producción es de gran escala con tiempos cortos, lo que mejora el crecimiento y rendimiento (De Jong et al., 2020). Esto como consecuencia del mejoramiento genético para eficientizar la producción de carne y huevo (FAO, 2024). Estos productos son de alto contenido nutricional y accesibles a cualquier nivel socioeconómico (UNA, 2019).

Los objetivos del desarrollo sostenible (Figura 1) son considerados un plan para tener un futuro sostenible, la producción avícola y todos los proyectos derivados para la producción de alimentos cumplen con hambre cero, salud y bienestar con una producción y consumo responsables (ONU, 2025).



Figura 1. Objetivos del desarrollo sostenible aplicables en la producción avícola.

La ONU indica que la producción de aves de corral ha aumentado cinco veces más, de seguir así en 2050 se necesitará una producción de más del 60% para cubrir la demanda poblacional de 8000 millones de habitantes (FAO, 2023).

Ecuador y México han reportado un consumo per cápita de 33.19 kg al año (CONAVE, 2019).

El quinto lugar a nivel mundial se encuentra ocupado por México, después de Estados Unidos y China (FAOSTAT, 2022). Así, en el 2019 México tuvo una producción de 3.47 mill de ton de carne de pollo de la cual un 40.2% correspondía a exportaciones (FAOSTAT, 2021). La Tabla 1 presenta la producción de 2022 al 2024 donde Aguascalientes, Coahuila y Nuevo León han sido los principales productores (SIAP, 2025).

Tabla 1. Producción nacional (toneladas) de carne (pollo) en México de 2022 a 2024.

Lugar	2022		Lugar	2023		Lugar	2024	
	Estado	Producción		Estado	Producción		Estado	Producción
1	Ags.	394,103.73	1	Ags.	396,765.08	1	Ags.	405,464.81
2	Coah.	96,972.65	5	Coah.	101,031.31	5	Coah.	98,455.08
3	N.L.	69,050.37	19	N.L.	70,592.95	19	N.L.	72,685.91
4	Cam.	22,761.90	4	Cam.	23,085.77	4	Cam.	23,824.84
5	B.C.N.	1,018.87	2	B.C.N.	1,035.01	2	B.C.N.	1,070.10
6	B.C.S.	800.38	3	B.C.S.	767.96	3	B.C.S.	832.04
	Otros	2,891,914.29		Otros	2,985,415.46		Otros	3,066,219.50
	Total	3,476,622.18		Total	3,578,693.55		Total	3,668,552.28

Ags: Aguascalientes, B.C.N.: Baja California Norte, B.C.S: Baja California Sur, Cam: Campeche, Coah: Coahuila, N.L: Nuevo León.

Fuente: SIAP, 2025.

La edad de las aves tiene influencia en como aprovechan los nutrientes; entonces, la producción de pollos de engorda se caracteriza por tres etapas:

iniciación, desarrollo y finalización (Babatunde et al., 2019). La etapa de iniciación se identifica por mostrar un crecimiento rápido de los pollos, se termina de desarrollar el sistema óseo y se completa la formación de órganos y tejidos; se presenta un bajo consumo de alimento que debe tener una alta concentración de nutrientes, una buena ganancia de peso en los primeros días de vida puede llegar a asegurar un buen crecimiento y ser más resistentes a las enfermedades (Jabbar et al., 2021). Una vez obtenidos los nutrientes que cumplen con los requisitos nutricionales de la etapa de iniciación, se debe asegurar una correcta transición del alimento para no afectar el consumo ya que se prepara a los pollos para una rápida deposición de carne. En la etapa de finalización, la dieta presenta variaciones debido a los fines del producto ya que es el momento en el cual se presenta mayor producción de grasa; se pueden suministrar dietas que garanticen un peso y edad que permitan tener un óptimo retorno financiero para los gastos de producción (Babatunde et al., 2019).

2.2. ACEITES ESENCIALES

Una de las principales problemáticas mundiales es el desarrollo de microorganismos como *Salmonella* y *Campylobacter* spp. que presentan resistencia a antibióticos (Zhang et al., 2021b), mismas que pueden ser transmitidas a los humanos debido al consumo de carne. Estados Unidos de América y Europa han reportado 50 000 muertes al año por causa de las bacterias que generan resistencia, y en caso de continuar el aumento de casos hay una estimación que puede llegar a crecer el índice de mortalidad hasta 10 millones en el año 2050; esta problemática afecta diversos sectores como la seguridad alimentaria, el bienestar de los animales y la población. Este problema desencadenó la prohibición del uso de antibióticos en algunos países de Europa en el año 2006 para la producción ganadera; además, algunos países como Corea del Sur, Nueva Zelanda y México han adaptado esta estrategia; por otra parte, Japón, Australia, E.UA. y Canadá han formulado leyes para la prohibición parcial de los antibióticos y sus derivados (Salim et al., 2018).

Respecto a las alternativas para la sustitución de antibióticos, las plantas aromáticas y sus extractos han ganado popularidad debido a su uso como remedio para enfermedades, y entre ellas se encuentran los probióticos y los agentes fitogénicos como los aceites esenciales (AE) de vegetales aromáticos para obtener una producción limpia y sostenible del sector avícola (Chowdhury et al., 2018). Existen distintas formas de administración, entre ellas es la suplementación en el alimento (polvo o cápsulas recubiertas), o suministrarlas en el agua (Hargis et al., 2021).

Los AE se obtienen mediante distintos procesos como 1) extracción por solventes: en este método se deben mantener ciertos parámetros como el solvente, el tamaño de partícula y otros factores ambientales; el hexano es utilizado como solvente debido a su capacidad de arrastre de compuestos orgánicos; 2) extracción con fluido supercrítico: la partícula de la planta de interés se somete a un secado hasta obtener un 10% de humedad de este proceso se obtienen dos residuos el sólido y el aceite esencial diluido en CO₂; finalmente, 3) destilación o extracción en frío de sustancias que contienen compuestos volátiles, obtenidos de distintas partes de la planta como semilla, tallo, hoja o flor, donde se han evaluado sus compuestos fitogénicos (Benchaar, 2020).

La composición puede variar con base a su manejo, tipo y dosis utilizada (Tabla 2), además de la capacidad antimicrobiana por sus propiedades, ya sea hidrofílicas, lipofílicas, polaridad y enlaces de hidrógeno (Wu et al., 2020).

Tabla 2. Principales compuestos de distintos tipos de AE de diferentes plantas aromáticas.

Nombre	Compuesto	Cantidad (g/kg)	Efecto	Bibliografía
Yema de clavo	Eugenol	831	Bactericida/ bacteriostáticas	Devi et al., 2010.
Aceite de corteza de canela	Cinamaldehído	505 - 977	Actividad antibacteriana	(Ranasinghe et al., 2013)
	P- Cimeno y- terpineno	211 365	Actividad antimicrobiana	

Aceite de semilla de ajwain	timol	367		
Aceite de orégano	Timol Carvacrol	18.8 % 2.24 %	Actividad antimicrobiana Anestésica	Tellez et al., 2017.

2.3. EL ORÉGANO Y SUS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

El orégano (*Origanum vulgare* o *Lippia berlandieri* Schauer) pertenecientes a la familia *Labiaceae*, se caracterizan por ser unas plantas herbáceas, perennes y se pueden encontrar diferentes variedades alrededor del mundo, teniendo múltiples usos como planta ornamental, condimento en la industria alimentaria, perfumes, medicamento y producción de AE. En el año 2018 se registró una producción de más de 10 000 ton, países como Turquía se han ganado el puesto de ser el principal productor con 10 000 ton al año, seguido por México con 3 000 ton y Grecia con 2 000 ton (CONAFOR, 2019). Diferencias taxonómicas se pueden encontrar debido a que se han logrado registrar de 24 a 61 especies que entran en cuatro variedades: *Verbenaceae*, *Fabaceae*, *Asteraceae*, y *Lamiaceae*, cuenta con múltiples propiedades: antiinflamatoria, antioxidante y antimicrobiana (Yoncheva et al., 2021).

De todas, existen tres tipos de orégano (Figura 2) que son aplicados para dietas de pollos de engorda, 1) Las variedades europeas (*A. sativum* L., *Origanum onites* sp. y *Origanum vulgare* L.); 2) las variedades mexicanas (*Lippia berlandieri*, *Poliomintha longiflora* y *Lippia graveolens*) y 3) las variedades colombianas. El mexicano se comercializa un 90% en mercado internacional y el 10% en el mercado nacional, (Hernández Coronado et al., 2019); cabe destacar que entre los mayores consumidores de orégano está Estados Unidos con 6 000 ton al año (García et al., 2012).

En México se pueden encontrar más de 30 especies de orégano, ya que algunas de ellas son endémicas y solo se localizan en ciertas regiones del territorio nacional como el norte liderado por Baja California, teniendo a los mayores

productores con niveles de producción de hasta un 90% de *Lippia graveolens* (Cázares Gallegos et al., 2019).



Figura 2. Variedades más importantes de orégano en la nutrición animal, gastronomía y medicina.

Fuente: Hernández-Coronado et al., 2019.

2.4. CARACTERÍSTICAS DEL ACEITE DE ORÉGANO

El AE, principalmente de orégano (AO) puede presentar variaciones en su composición debido a factores intrínsecos (especies) y extrínsecos (ubicación geográfica, clima en la zona de siembra, tiempo de cosecha), además de las condiciones de almacenamiento (Baydar et al., 2004). Los principales grupos que los componen son los terpenoides, algunos ácidos como los fenólicos y triterpénicos, compuestos inorgánicos, esteroides e hidrocarburos. Sus principales componentes bioactivos entre ellos el carvacrol, timol y p- cymeno que poseen actividad antiinflamatoria, antimicrobiana, antiviral, anticancerígena, anti

genotóxica, cardiorrespiratoria, insecticida y larvicida; además de tener actividad en tracto intestinal y efectos en la función endotelial. El AO tiene actividad inhibitoria en ciertos genes de *E. coli* enterohemorrágica, lo que le da gran importancia para su uso en la salud de los seres vivos (humanos y animales) (Karadayi et al., 2020).

Los principales compuestos el AO se clasifican como monoterpenoides, que debido a su conformación de un anillo aromático derivado de la unión de dos moléculas de isopropeno y tres grupos funcionales, su grupo hidroxilo de encuentra en la posición C-1 (Flores et al., 2011). El grupo hidroxilo quien da importancia a la actividad antimicrobiana del timol se encuentra en la posición C-5 y su grupo isopropilo en la posición C-2 (Figura 3a); en el carvacrol el grupo metilo se encuentra unido en la posición C-2 y el isopropilo en la posición C-5 (Figura 3b) (Kachur & Suntres, 2019). Estos compuestos son considerados seguros para su consumo según la Administración de Alimentos y Medicamentos (por sus siglas en inglés FDA), afortunadamente el carvacrol está permitido en varios alimentos en Europa; por su parte, el timol ha presentado mayor actividad antioxidante debido a su disposición espacial reduciendo la oxidación celular (Rathod et al., 2021).

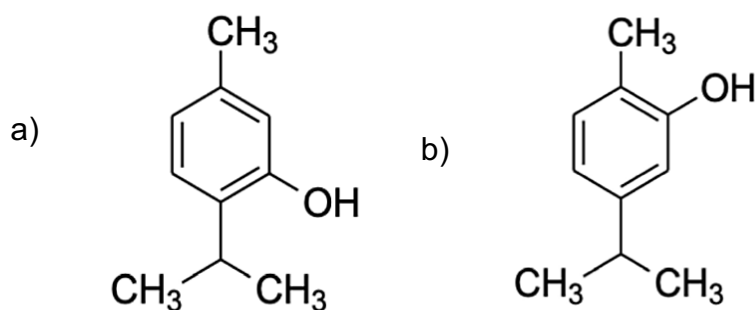


Figura 3. Configuración molecular de los compuestos fenólicos [a) timol; b) carvacrol].

Fuente: ChemDraw, 2026.

2.5. ACEITE DE ORÉGANO EN LA NUTRICIÓN ANIMAL

El AO ha presentado una aplicación en la nutrición animal debido a que ha mostrado tener actividad benéfica en el sistema respiratorio, digestivo y como factor de crecimiento natural en distintas especies de animales (Figura 4). En la avicultura, ha demostrado tener impacto en las variables productivas que se evalúan (conversión alimenticia y ganancia de peso) y mejoran algunos parámetros en la carne de acuerdo con Sánchez Zamora et al. (2019); además, estos autores mencionaron que el uso de AO en concentraciones menores a 0.5 g/kg puede mejorar algunas variables como la capacidad de retener agua y el peso al sacrificio en un periodo experimental de 40 días. Otros estudios han mostrado a los 12 días mejor ganancia de peso, menor porcentaje de mortalidad, mayor longitud de vellosidades y reducir la adherencia de patógenos a nivel intestinal (Fukayama et al., 2005). Nilkant et al. (2020) determinaron que con una concentración de 150 g/kg de AE de orégano ayuda a la actividad intestinal brindando mejores resultados en la digestión de materia seca y la retención de nutrientes, disminuyendo enfermedades respiratorias y mortalidad en la producción. Otras evaluaciones como de Zaazaa et al. (2022), evaluaron el impacto del AO con base al tiempo (7, 28 y 42 días), mostrando mayor ganancia de peso en cada una de las semanas comparado con otros tipos de compuestos fitogénicos.



Figura 4. Efectos del AO como suplemento en las dietas animales.

Fuentes: Algawany et al. (2020); Stelter et al. (2013); Benchar (2020).

3. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente se ha presentado un alza en la demanda de alimento para cubrir las necesidades de alimento de la población mundial. La avicultura es una de las principales actividades para producir carne y huevo; estos productos tienen buen aporte nutricional y precios accesibles para cualquier nivel socioeconómico; sin embargo, uno de los problemas en este sistema es el uso de los antibióticos.

A partir de la última década se han implementado nuevas alternativas a antibióticos, y se han encontrado distintas alternativas como los probióticos y agentes fitogénicos (AF); los AF son compuestos secundarios producidos por plantas para tolerar factores ambientales; estos han sido utilizados como suplementos alimenticios en la nutrición animal. Algunos AF son los extractos de plantas aromáticas, entre ellos los aceites esenciales; por ejemplo, el orégano ha sido evaluado en varias especies de animales, y una de ellas han sido los pollos de engorda. En pollos, el AO se ha investigado como alternativa a antibióticos, control de estrés por calor, control de bacterias patógenas, promover el desarrollo y alternativa para mejorar los parámetros de calidad en el producto comercializable.

La suplementación del AO en las fases de crecimiento de pollo de engorda se puede considerar como una alternativa para la avicultura. Los compuestos fitogénicos presentes pueden mejorar algunas variables como la conversión alimenticia, mejorar su rendimiento, salud intestinal y calidad de la carne, el uso de nuevas estrategias nutricionales que mejoren el objetivo de una reducción de más del 50% del uso de antibióticos en la producción animal. El objetivo principal de esta investigación es mejorar los parámetros productivos y calidad de la carne con el uso del AO en una etapa específica de producción, promoviendo una práctica sostenible y con seguridad alimentaria para el consumo humano.

4. HIPÓTESIS

El AO suplementado en dietas de pollos en las etapas de producción mejorará los parámetros productivos, salud intestinal, calidad de la carne y su capacidad antioxidante.

5. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

5.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del AO en dietas de pollos (engorda) durante sus etapas de producción, rendimiento de carne, fisicoquímica, textural, sensorial, antioxidante, histología y su correlación.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar el AO suplementado en dietas de pollos en las fases de iniciación, crecimiento y finalización analizando el peso de pollos, ganancia de peso, consumo de alimento y agua, y eficiencia alimenticia.
2. Analizar la producción de carne y sus variables fisicoquímicas (color, pH, retención de agua) de la pechuga de pollo.
3. Evaluar el efecto de la textura y atributos sensoriales de la carne de pechuga de pollos suplementados con AO.
4. Evaluar el comportamiento de la composición bromatológica de la carne de pechuga de pollo por fase productiva (iniciación, crecimiento y finalización).
5. Analizar las vellosidades y criptas del íleon por efecto del orégano en los pollos de engorda.
6. Evaluar la capacidad antioxidante de la carne de pechuga de pollos suplementada con AO.
7. Evaluar la correlación entre la composición de la carne, capacidad antioxidante y vellosidades.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

La fase experimental en dietas de pollo se realizó en el Campus Marín de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Marín, Nuevo León, México. El Campus se encuentra localizado en la altitud de 400 m, longitud - 100° 2' O y latitud 23° 53', la temperatura se encuentra entre los 18° a 32° C y con un su rango de precipitaciones entre 700 mm por año, colinda al oeste con General Zuazua, al sur con Pesquería, al norte Higuera y al este con Doctor González y (INEGI, 2026).

6.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Un total de 300 pollos *Ross-308* de 1 día de edad (49.40 ± 1.30 g) tuvieron un periodo de adaptación de 8 h (Figura 5); después fueron asignados aleatoriamente en cinco grupos experimentales considerando las fases de producción [iniciación: semana 1 (7 d) y 2 (14 d); desarrollo: semana 3 (21 d) y 4 (28 d); finalización: semana 5 (35 d) y 6 (41 d)] como tratamientos: AOM₀, dieta control sin AOM (0 mg/kg); AOM₁₂, dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄, dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆, dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆, dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. El AOM utilizado fue de la especie *Lippia berlandieri* Schauer, extraído con destilación por vapor y tuvo una composición de 76.16% carvacrol, 10.07% timol, 2.01% α -pineno, y 9.05% otros compuestos (Clarus 600 and MS SQ8 Perkin Elmer Inc., Waltham, MA; Silva-Vázquez et al., 2017). Los corrales utilizados fueron realizados con acero inoxidable y malla metálica hexagonal con una medida de 1.10 m²; además cada corral tuvo un comedero y un bebedero para el ofrecimiento de agua y alimento *ad libitum*.

Las muestras de dietas, excreta y pechuga fueron procesadas en el laboratorio de nutrición animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Las muestras de intestino y sangre se procesaron en el laboratorio de biotecnología microbiana de la Facultad de Agronomía, UANL. Las evaluaciones del

rendimiento en canal, así como el análisis sensorial se realizaron en la planta piloto de carnes y laboratorio de evaluación sensorial del Centro de Investigación y Desarrollo en Industrias Alimentarias. Las variables de calidad de la carne fueron analizadas en el laboratorio de ingeniería de la Facultad de Agronomía, UANL.



Figura 5. Periodo de adaptación de los pollos de un día de edad.

6.3. DIETAS

Las dietas fueron formuladas basándose en los requerimientos nutricionales para pollo de engorda (Manual de nutrición específica para pollos de engorde Ross - 308) (Tabla 3). El experimento fue aprobado por el comité de Bioseguridad y Bioética de la FMVZ (ID 0246/2023).

Tabla 3. Composición de las dietas suplementadas con AO en las fases de producción.

Ingredientes (g/ kg)	Fase					
	Iniciación	Desarrollo	Finalización			
Harina de soya	389.00	351.00	300.00			
Aceite vegetal	26.00	32.00	35.00			
Maíz	546.00	580.00	628.00			
Carbonato de calcio	14.00	12.00	12.00			
Base broiler 1 ¹	25.00	0.00	0.00			
Base broiler 2	0.00	25.00	0.00			
Base broiler 3	0.00	0.00	25.00			
Composición química (%) ²	CON + 100 mg/kg AOINI		CON + 100 mg/kg AODES		CON + 100 mg/kg AOFIN	
	CON	CON	CON	CON	CON	CON
Proteína cruda	21.59	22.96	19.28	20.45	18.77	18.49
Grasa	4.56	4.27	5.21	5.35	5.52	5.65
Fibra cruda	2.49	2.46	2.91	2.76	2.68	2.59
Humedad	5.72	5.54	5.54	5.52	4.95	4.90

¹ Base broiler para pollos de engorda, preparación de alimento completo para las fases de producción: fase de iniciación (semana 1 y 2), crecimiento (semana 3 y 4) y engorda (semana 5 y 6).

² Valores expresados con base a. materia seca.

6.4. VARIABLES PRODUCTIVAS

El peso inicial de los pollos (PIP) fue registrado al inicio del experimento. El peso de los pollos (PP) fue determinado al final de cada semana [1 (7 d), 2 (14 d), 3 (21 d), 4 (28 d), 5 (35 d) y 6 (41 d)] (Figura 6). Las otras variables productivas se obtuvieron de la siguiente manera:

Consumo de alimento (CAL)

$$CAL = \frac{\text{consumo de alimento por semana}}{\text{número de pollos por corral}}$$

Consumo de agua (CAG)

$$CAG = \frac{\text{consumo de agua por semana}}{\text{número de pollos por corral}}$$

Ganancia de peso (GP)

$$GP = \text{peso final}(P_f) - \text{peso previo-peso inicial}(P_i)$$

Eficiencia alimenticia (EA)

Consumo de alimento (EA_{CAL})

$$EA_{CAL} = \frac{\text{consumo de alimento (CAL)}}{\text{ganancia de peso (GP)}}$$

Consumo de agua (EA_{CAG})

$$EA_{CAG} = \frac{\text{consumo de agua (CAG)}}{\text{ganancia de peso (GP)}}$$



Figura 6. Recolección de datos de ganancia de peso por corral.

Las variables fueron determinadas en la semana 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Así mismo, el CAL y CAG global fueron estimados por fase (cada dos semanas). En

consecuencia, la EA_{CAL} y EA_{CAG} globales fueron estimadas por fase. Finalmente, la productividad global total fue estimada considerando todas las fases. En la semana 6 se midieron las variables de sacrificio (órganos, peso y rendimientos de la canal, pechuga, muslo, pierna y el sobrante), la calidad de la pechuga de pollo (pH, textura, retención de agua, composición, color y análisis sensorial).

6.5. VARIABLES DE LA CARNE AL SACRIFICIO

Al día 42, el sacrificio de las aves fue de siguiendo los lineamientos establecidos por la Norma Oficial Mexicana (NOM-033-SAG/ZOO, (2014) y Hernández-Coronado et al. (2019). Un total de seis pollos por replica fueron seleccionados al azar ($n = 36$ por tratamiento). Después del proceso de sacrificio y eviscerado se registró el peso al sacrificio (PS) y peso de las canales para estimar el rendimiento de la canal caliente (RC_{CAL}) y fría (RC_{FRI}) como lo establecieron Sánchez-Zamora et al. (2019). El almacenamiento de las canales fue a una temperatura de $4^{\circ}C$ durante 12 h. La pechuga se separó de la canal y su peso se registró para estimar el rendimiento de pechuga (RP) y prepararlas para los análisis de calidad (Figura 7).



Figura 7. Preparación de la canal de pollo y separación de la pieza de interés (pechuga).

6.6. VARIABLES FISICOQUÍMICAS DE LA CARNE DE PECHUGA

Los análisis fisicoquímicos de la carne de pechuga fueron realizados en ambos lados (medidos por duplicado). La medición de color, pH y capacidad de retención de agua (CRA), se utilizaron 12 muestras de cada uno de los tratamientos (n= 24; 2 pechugas por réplica por tratamiento). La variable pH fue cuantificada con un potenciómetro (Marca: Orion® 3 star Thermo Fisher Scientific, Pittsburg, USA.) usando un electrodo de punción. El electrodo fue introducido directamente en las muestras para medir el pH.

La CRA fue realizada de acuerdo con las modificaciones establecidas por Méndez-Zamora et al. (2015). Un total de 0.3 ± 0.1 g de la carne de pechuga fue pesado, colocado entre dos piezas de papel filtro, después entre dos piezas de acrílico (12 x 12 cm). Enseguida, un peso uniforme previamente establecido (4.0 kg) fue colocado encima durante un lapso de 20 min. Las muestras de pesos iniciales (Pi) y finales (Pf) se registraron para estimar la variable de CRA utilizando la fórmula:

$$CRA=100-[(Pi-Pf)/Pi] \times 100$$

La medición de color fue tomada de ambos lados de la pechuga sin piel fue medido directamente en la superficie de la muestra. El colorímetro (CR-400, Konica Minolta®, Tokyo, Japón) se utilizó para determinar tendencia a color rojo (a^*), la luminosidad (L^*), y amarillo (b^*), tonalidad (ángulo Hue) y saturación (Chroma). El colorímetro fue calibrado antes de realizar las mediciones.

La variable de pérdida por cocción (PP_C) fue realizada con la carne de 12 pechugas (n= 12; 2 pechugas por réplica por tratamiento) de acuerdo con los resultados de Sánchez-Zamora et al. (2019) (Figura 8). Las muestras de pechuga seleccionadas se deshuesaron, después fueron colocadas en bolsas con sellado al vacío y fueron colocadas para su cocción en agua a una temperatura de 75 ± 0.1 ° C durante 90 min. Después, las muestras se enfriaron a 20 ° C durante 30 min; inmediatamente las muestras se almacenaron a 4 ° C durante un lapso de 12 h. Finalmente, el peso de pechuga cocida fue registrado. La PP_C se estimó con la siguiente fórmula:

$$\% PP_c = ((\text{peso pechuga fresca} - \text{peso pechuga cocida}) / \text{peso pechuga fresca}) * 100$$



Figura 8. Análisis de pérdida por cocción a pechugas de pollo suplementadas con AO.

6.7. ANÁLISIS DE TEXTURA

El análisis fue realizado a partir de las pechugas cocidas utilizadas para estimar la PP_c siguiendo los procedimientos modificados y establecidos por Sánchez-Zamora et al. (2019). Cada lado de la pechuga fue analizado ($n= 24$; 2 pechugas por réplica por tratamiento). El análisis de perfil de textura (APT) y los datos de fuerza de corte se obtuvieron con un texturómetro (TA.XT. Plus, Stable Micro Systems®, Englad) (Figura 9). En fuerza de corte (F_{Corte}) se utilizó una navaja Warner Bratzler adaptada previamente al texturómetro. Las dimensiones establecidas de las muestras fueron 1 cm de ancho y alto y 3.0 cm de largo, cortadas de manera paralela a las fibras musculares.

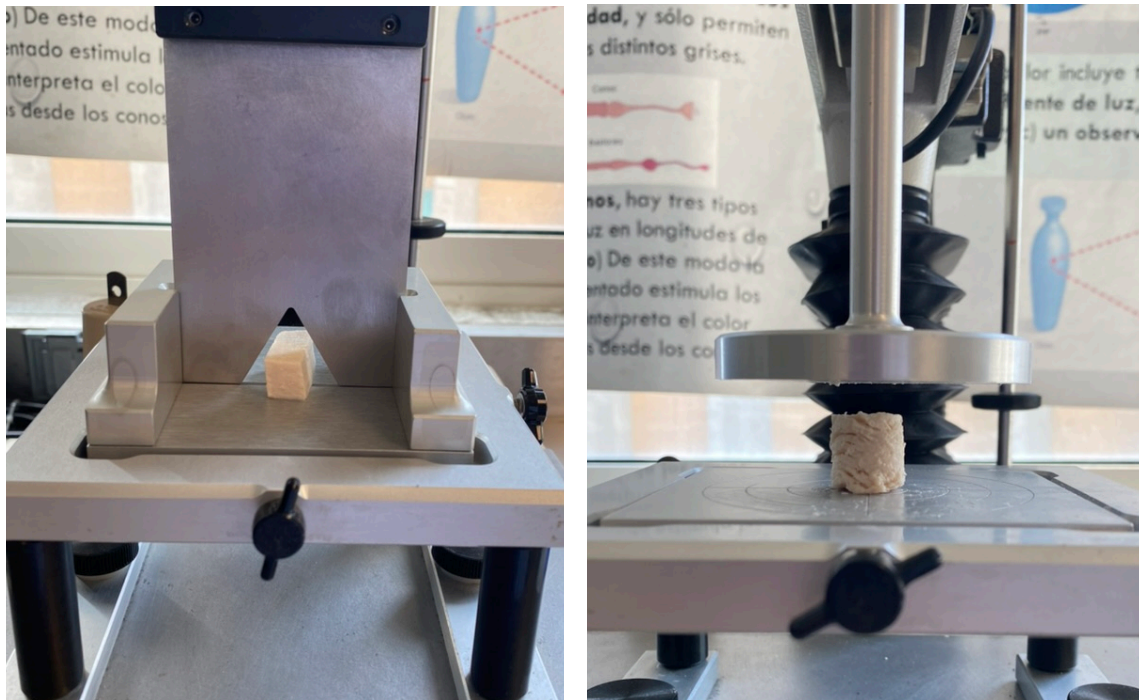


Figura 9. Muestras de pechuga adaptadas al texturómetro para el análisis de textura.

Los valores para prueba fueron los siguientes: pre-prueba 1 mm s^{-1} , durante prueba 2 mm s^{-1} y post-prueba 5 mm s^{-1} , y una distancia de 15 mm. Las muestras cilíndricas usadas para el APT tuvieron medidas de altura y diámetro (1.5 cm y 1.8 cm, respectivamente). La presión fue realizada con el uso de una pieza cilíndrica (pistón de 75 mm de diámetro) para comprimir en dos ciclos a 50% de la altura de la muestra. Las velocidades establecidas para el APT fueron pre-prueba 1.0 mm s^{-1} , en prueba 2.0 mm s^{-1} y post- prueba 5.00 mm s^{-1} fueron utilizadas para la obtención de las curvas de deformación fuerza/tiempo. Los variables obtenidas fueron elasticidad (mm), dureza (g), gomosidad (g), resiliencia (adimensional) adhesividad (g/s), cohesividad (adimensional), y masticabilidad (g/mm) (Cázares-Gallegos et al., 2019; Hernández-Coronado et al., 2019).

6.8. ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis se realizó mediante una prueba afectiva por atributos (Meligaard et al., 2006; Hernández-Coronado et al., 2019) con 30 evaluadores semientrenados (Figura 10). Una pechuga por réplica por tratamiento ($n = 6$ pechugas) se usó para la evaluación de carne de pechuga cocida (75 ± 0.1 ° C; 90 ° C).



Figura 10. Acomodo de muestras y evaluadores en el análisis sensorial de pechuga de pollo suplementados con AO.

Cada evaluador recibió dos cubos de 1.5 cm por tratamiento colocados en vasos con códigos de tres números de manera aleatoria. Los atributos evaluados fueron olor, sabor, jugosidad, suavidad y aceptabilidad general (AG). La utilización de la escala para la evaluación fue hedónica de cinco puntos, donde el valor más alto 5 = me gusta mucho y el más bajo 1 = me disgusta mucho.

6.9. HISTOLOGÍA DEL TEJIDO INTESTINAL (ÍLEON)

En el día del sacrificio (41 días), se tomaron muestras del íleon de 12 pollos por tratamiento (n = 12; 2 pollos / corral/ tratamiento), se tomaron 2 cm de tejido para después ser fijadas por inmersión en una solución de formaldehído (al 10% para su conservación. Las muestras en forma de rodajas de 1 cm del tejido fueron colocadas de forma transversal y longitudinal para ser incluidas en parafina para obtener los bloques, con ayuda del mitocromo se cortaron las muestras de tejido para ser montadas sobre un portaobjetos y realizar la tinción hematoxilina y eosina (H&E).

La profundidad de la cripta, ancho, largo y altura de las vellosidades se cuantificaron siguiendo el método establecido por Hong et al. (2012). Las mediciones fueron realizadas utilizando el software de análisis Image J.JS® versión 1.51 (National Institutes of Health). La toma de datos de las vellosidades fue realizada siguiendo la metodología utilizada por Hernández-Coronado et al. (2019), la altura de las vellosidades fue medida desde la punta inicial hasta la mucosa (A), de manera vertical se seleccionó el punto medio de la vellosidad para medir el ancho (B), la profundidad de la cripta (C) (Figura 11) se consideró desde el punto medio de dos porciones de vellosidades intestinales. Los datos obtenidos de 10 campos al azar fueron expresados en micrómetros (μ) dónde el campo de medición utilizado fue de 4x. Toda esta metodología y análisis se desarrollaron en el Departamento de Histología, Facultad de Medicina, UANL.

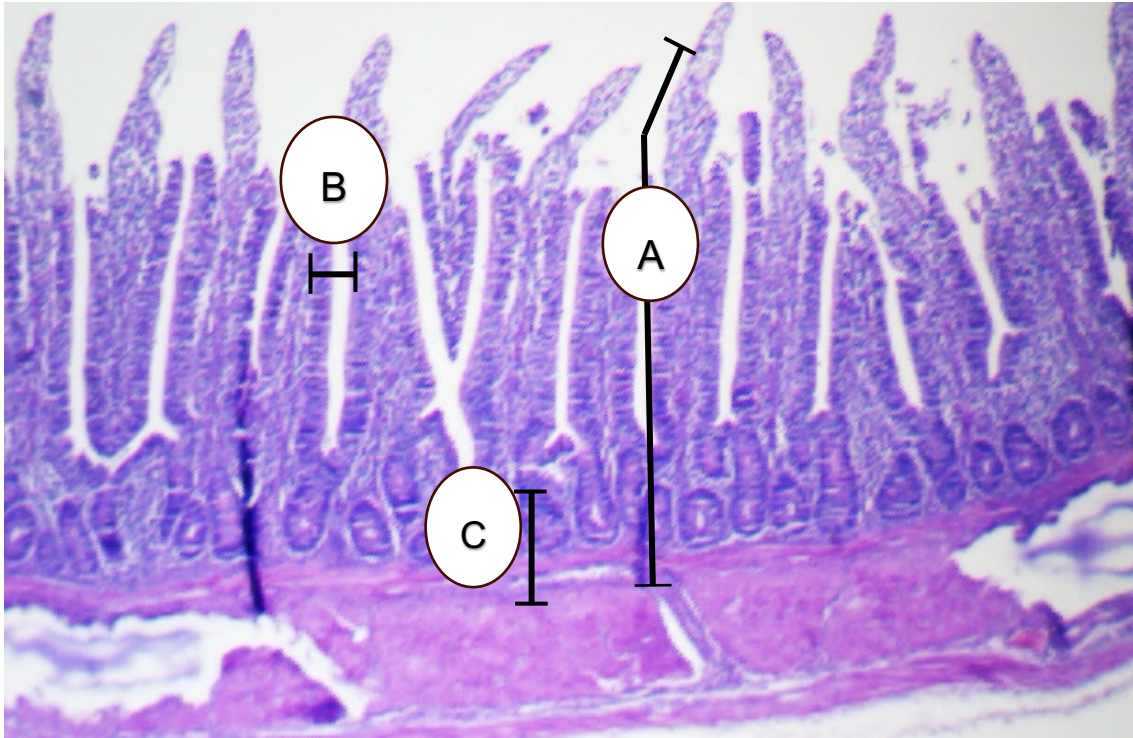


Figura 11. Medición de vellosidades del íleon de los pollos de engorda.

A = referencia de medición para largo de vellosidades; B= referencia de medición para ancho de vellosidades; C = referencia de medición de las criptas Lieberhühn. Método de tinción = hematoxilina y eosina (H&E).

6.10. ANÁLISIS QUÍMICO DEL ALIMENTO Y CARNE

Los análisis se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Nutrición de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UANL (Tabla 4); las muestras de alimento se recolectaron después de la preparación de las dietas y colocadas en bolsas resellables y almacenadas a -20°C hasta su análisis en laboratorio. Las muestras de carne y alimento fueron analizadas por la metodología descrita por la AOAC (2016).

Tabla 4. Métodos de análisis de muestras de alimento y carne.

Análisis	Método	Referencia
----------	--------	------------

Materia seca (MS)	934.01	AOAC 1995
Proteína Cruda (PC)	968.06	AOAC 1995
Fibra cruda (FC)	Foss Fiber	Chowdhury et al., 2018
Extracto etéreo (ET)	Goldfish	AOAC 1995

6.11. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

El día del sacrificio (41 días), se tomaron muestras de pechuga de 12 pollos por tratamiento (n = 12; 2 pollos / corral/ tratamiento), las muestras de pechuga de pollo fueron secadas a 60° C durante 24 h, después fueron trituradas y maceradas en un mortero para asegurar el menor tamaño de partícula (Figura 12).

El análisis de ABTS fue realizado con 2 g de carne de pechuga de pollo previamente seca y después se le colocó 10 mL de solución, las muestras fueron sometidas a agitación de 1 min a 400 rpm a temperatura ambiente, después las muestras fueron analizadas en el espectrofotómetro a 734 nm y los resultados fueron expresados como mmol de equivalente de Trolox como lo estableció Re et al. (1999). También, el método FRAP fue empleado con el reactivo correspondiente para realizar la medición de absorbancia a 593 nm, los datos resultantes fueron comparados con la curva estándar y reportados como $\mu\text{mol/L}$ (Rioja et al., 2018).



Figura 12. Muestras de pechuga de pollo suplementadas con AO para los análisis de composición química y capacidad antioxidante.

6.12. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El modelo estadístico del modelo lineal general (MLG) se usó para el análisis de los datos de producción considerando el modelo estadístico: $y_{ijk} = \mu + T_i + \lambda + \epsilon_{ij}$; dónde: y_{ijk} = variables productivas que fueron medidas durante el experimento a través del tiempo; μ = media general; T_i = efecto del i-ésimo tratamiento (AO₀, AO₁₂, AO₃₄, AO₅₄ y AO₁₆); λ = efecto de la covariable (PIP) y ϵ_{ijk} = error experimental. El nivel de significancia que fue utilizado para encontrar alguna diferencia significativa fue del 0.05 entre los tratamientos ($P < 0.05$). Cuando H_0 se rechazó, las medias se compararon por la prueba Tukey a un nivel del 0.05 de significancia. Una tendencia significativa por variable se consideró cuando el P-value del ANOVA fue menor a 0.10 ($P < 0.10$), y la comparación de medias fue realizada con la prueba de Fisher ($P < 0.10$).

Los datos del análisis sensorial fueron analizados con ayuda de una prueba no paramétrica (Friedman) en donde se consideró el evaluador como efecto de bloque para reducir el grado de error experimental. El nivel de significancia utilizado fue del 0.05 para encontrar si existía alguna diferencia significativa entre

los tratamientos ($P < 0.05$). En los casos en los que H_0 fue rechazada las medias fueron comparadas con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Un análisis de correlación de Pearson fue realizado para encontrar la relación existente entre la calidad de la carne, morfología intestinal y capacidad antioxidante. Todos los análisis fueron realizados con el paquete estadístico Minitab® 17.1.0 (2013).

6.13. CONSIDERACIONES ÉTICAS Y DE BIOSEGURIDAD

El experimento fue previamente aprobado (ID 0426/2023) por el comité de Bioseguridad y Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UANL. Además, los lineamientos de la NOM-026-ZOO (1999) sobre producción, cuidado y uso de animales de laboratorio fueron considerados para la realización de este experimento.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. PESO DE LOS POLLOS

El comportamiento del peso en pollos (PP) suplementados con AOM se presenta en la Tabla 5. El PP no mostró diferencia estadística ($P > 0.05$) entre los tratamientos durante los 41 días de experimentación (6 semanas). El grupo AOM₁₂ presentó un peso alto en 7, 14 y 28 d, mientras que AOM₁₆ en 21 d y AOM₃₄ (pollos suplementados con AOM solo en la semana 3 y 4) en 35 y 41 d. Resultados similares en PP han sido encontrados con la alimentación de 100 mg/kg de AEO colombiano a los 35 días de experimentación (Betancourt et al. 2019). Por otra parte, Cázares-Gallegos et al. (2019) obtuvieron diferencia, pero los PP de ese estudio fueron menores a la presente investigación donde se utilizó 100 mg/kg de AOM en toda la producción. En esta investigación el PP no presentó cambios en el tiempo de experimentación, esto puede atribuirse al nivel de 100 mg/kg de AO ya que Zhang et al. (2021) mostraron efectos en el PP con 200 mg/kg. Los resultados de esta investigación indicaron que 100 mg/kg de AOM no afectan el PP en las fases de producción, pero es posible que pueda presentarse algún efecto con el uso de concentraciones mayores a 200 mg/kg o niveles más altos.

Tabla 5. Comportamiento de peso en pollos (kg) de engorda suplementados con AO mexicano durante las diferentes fases de producción.

Tratamiento ¹	Iniciación		Desarrollo		Finalización	
	7	14	21	28	35	41
AOM ₀	0.175	0.473	0.949	1.459	1.943	2.442
AOM ₁₂	0.177	0.473	0.964	1.5	1.978	2.462
AOM ₃₄	0.174	0.469	0.971	1.484	2.005	2.495
AOM ₅₆	0.174	0.472	0.964	1.461	1.969	2.486
AOM ₁₆	0.172	0.469	0.972	1.467	1.946	2.468

EEM	0.003	0.008	0.012	0.024	0.04	0.066
P-value	0.718	0.917	0.701	0.381	0.896	0.918

¹ AOM₀: dieta control sin AOM (0 mg/kg); AOM₁₂: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM: error estándar de la media.

^{a-b} Medias (n = 6 réplicas (corrales) por tratamiento) en columna con diferente literal difieren estadísticamente (P < 0.05).

7.2. GANANCIA DE PESO

La ganancia de peso (GP) corporal por semana no mostró diferencias (P > 0.05) entre los tratamientos, pero en la fase de finalización alcanzaron una GP de 0.50 kg (Tabla 6). La ganancia de peso fue alta en el tratamiento AOM₁₂ y baja en el tratamiento AOM₁₆ para el día 7. Además, al día 21, AOM₃₄ y AOM₁₆ mostraron GP altas en comparación con las otras suplementaciones y el tratamiento de control.

Tabla 6. Ganancia de peso corporal (kg) semanal de pollos de engorda suplementados con AO durante las diferentes fases de producción.

Tratamiento ¹	Iniciación		Desarrollo		Finalización	
	7	14	21	28	35	41
AOM ₀	0.1255	0.2985	0.4764	0.5096	0.4837	0.4993
AOM ₁₂	0.1283	0.2952	0.4913	0.5355	0.4784	0.4844
AOM ₃₄	0.1243	0.2945	0.5019	0.5130	0.5212	0.4903
AOM ₅₆	0.1236	0.2984	0.4917	0.4971	0.5086	0.5166
AOM ₁₆	0.1234	0.2973	0.5021	0.4957	0.4790	0.5218
EEM	0.0031	0.0057	0.0081	0.0188	0.0324	0.0390
P-value	0.718	0.934	0.247	0.407	0.950	0.752

¹ AOM₀: dieta control sin AOM (0 mg/kg); AOM₁₂: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM: error estándar de la media.

^{a-b} Medias (n = 6 réplicas (corrales) por tratamiento) en columna con diferente literal difieren estadísticamente (P < 0.05).

Silva-Vázquez et al. (2018) obtuvieron una diferencia estadística en la ganancia de peso a partir del día 7. La suplementación con agentes fitogénicos del AO un incremento en las variables de producción más importantes para su comercialización (Zaazaaa et al., 2022). En esta investigación el GP no presentó alguna diferencia en el tiempo de experimentación, esto puede atribuirse al nivel de inclusión (100 mg/kg de AO), ya que Zhang et al. (2021) mostraron efectos en el PP con 200 mg/kg. Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación indicaron que 100 mg/kg de AO no afectan el PP en las fases de producción, pero es posible que pueda presentarse algún efecto con el uso de concentraciones mayores a 200 mg/kg o niveles más altos.

7.3. CONSUMO DE ALIMENTO

El consumo de alimento (CAL) resultó diferente (P < 0.05) en los días 14 y 28 (Tabla 7). En los dos periodos, los pollos del grupo AOM₁₂ consumieron más alimento y AOM₁₆ tuvieron el menor CAL. Estos resultados indicaron que, en las fases de iniciación y desarrollo, el CAL tuvo efecto del AOM.

Tabla 7. Consumo de alimento (kg) en pollos suplementados con AO durante las diferentes fases de producción.

Tratamiento ¹	Iniciación		Desarrollo		Finalización	
	7	14	21	28	35	41
AOM ₀	0.152	0.441 ^{ab}	0.733	0.961 ^{ab}	0.931	0.973
AOM ₁₂	0.162	0.470 ^a	0.757	0.980 ^a	0.941	0.924
AOM ₃₄	0.151	0.453 ^{ab}	0.771	0.888 ^b	0.962	0.905
AOM ₅₆	0.151	0.447 ^{ab}	0.726	0.897 ^b	0.931	0.937
AOM ₁₆	0.147	0.413 ^b	0.725	0.886 ^b	0.902	0.921

EEM	0.004	0.011	0.020	0.021	0.028	0.039
P-value	0.118	0.051	0.444	0.006	0.869	0.653

¹ AOM₀: dieta control sin AOM (0 mg/kg); AOM₁₂: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM: error estándar de la media.

^{a-b} Medias (n = 6 réplicas (corrales) por tratamiento) en columna con diferente literal difieren estadísticamente (P < 0.05).

De acuerdo con Méndez-Zamora et al. (2017), al día 28 obtuvieron un comportamiento similar en CAL con el uso de 250 y 400 mg/kg de AO. CAL fue afectado con 100 mg/kg de AO, esto puede deberse a un mejor aprovechamiento de los nutrientes al utilizar niveles a mayores a 50 mg/kg (Adewole et al., 2021). Además, con base a los resultados de esta investigación se muestran efectos positivos en CAL cuando se usan 100, 250 y 400 mg/kg de AO en el día 28 de producción de pollos de engorda, pero pueden tener diferencias en periodos de tiempo más largos.

7.4. CONSUMO DE AGUA

La variable del consumo de agua (CAG) en pollos suplementados con AOM se muestra en la Tabla 8. Los tratamientos no mostraron diferencia (P > 0.05) en el CAG. El AOM₁₂ presentó un alto CAG al día 7 y 21, mientras que AOM₃₄ obtuvo CAG alto en el día 14 y 35 pero bajo consumo en 41 d. El grupo AOM₁₆ tuvo mayor consumo al día 28 y 41.

Tabla 8. Consumo de agua (L) en pollos suplementados con AO durante las diferentes fases de producción.

Tratamiento ¹	Iniciación		Desarrollo		Finalización	
	7	14	21	28	35	41
AOM ₀	0.444	0.921	1.341	1.926	1.993	1.925
AOM ₁₂	0.471	0.920	1.528	1.952	1.943	2.063

AOM ₃₄	0.448	0.951	1.443	1.910	2.121	1.810
AOM ₅₆	0.457	0.939	1.445	1.948	2.018	1.982
AOM ₁₆	0.409	0.882	1.430	1.970	1.792	2.069
EEM	0.016	0.040	0.054	0.052	0.138	0.108
P-value	0.209	0.888	0.413	0.903	0.746	0.478

¹ AOM₀: dieta control sin AOM (0 mg/kg); AOM₁₂: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM: error estándar de la media.

^{a-b} Medias (n = 6 réplicas (corrales) por tratamiento) en columna con diferente literal difieren estadísticamente (P < 0.05).

Hernández-Coronado et al. (2019) reportaron variación en CAG cuando evaluaron la concentración de 400 mg/kg de AO en 41 d, esto puede atribuirse al efecto en el crecimiento de los pollos debido a los factores ambientales, genéticos (raza) y CAL (Silva-Vázquez et al. (2015). Los resultados muestran que el CAG no fue afectado con el uso de 100 mg/kg de AO.

7.5. EFICIENCIA ALIMENTICIA CON BASE AL CAL Y CAG

No se observaron efectos significativos (P > 0.05) de los tratamientos (Tabla 9) sobre la eficiencia alimenticia según el CAL y CAG. En la fase inicial, AOM₁₂ mostró la mayor eficiencia según el consumo de alimento, mientras que AOM₁₆ tuvo la menor. La fase de desarrollo reveló un comportamiento diferente entre los tratamientos; AOM₀ mostró valores altos durante toda la fase, mientras que AOM₁₆ y AOM₃₄ mostraron valores bajos en la primera y segunda semana, respectivamente. La suplementación con AO manifestó valores numéricamente más bajos para EA_{CAL}, en contraste con EA_{CAG}, mientras que AOM₁₂ exhibió un valor de EA_{CAG} más alto durante la fase de finalización.

Tabla 9. Eficiencia alimenticia con base al consumo de alimento y agua en pollos suplementados con AO mexicano durante las diferentes fases de producción.

Variable/Tratamiento ¹	Iniciación		Desarrollo		Finalización	
	7	14	21	28	35	41
EA _{CAL}						
AOM ₀	1.21	1.48	1.54	1.90	2.01	2.11
AOM ₁₂	1.26	1.59	1.54	1.83	1.97	1.99
AOM ₃₄	1.22	1.55	1.54	1.73	1.85	1.87
AOM ₅₆	1.23	1.50	1.48	1.84	1.89	1.83
AOM ₁₆	1.19	1.39	1.44	1.79	1.90	1.77
EEM	0.03	0.05	0.05	0.07	0.09	0.14
P-value	0.692	0.113	0.544	0.512	0.778	0.540
EA _{CAG}						
AOM ₀	3.22	2.80	2.56	3.47	3.82	3.91
AOM ₁₂	3.33	2.83	2.82	3.31	3.71	4.16
AOM ₃₄	3.29	2.93	2.61	3.38	3.69	3.39
AOM ₅₆	3.36	2.86	2.68	3.64	3.72	3.53
AOM ₁₆	3.01	2.70	2.59	3.62	3.46	3.61
EEM	0.10	0.11	0.10	0.13	0.26	0.38
P-value	0.234	0.686	0.550	0.332	0.913	0.792

¹ EA_{CAL}: eficiencia alimenticia con base al consumo de alimento; EA_{CAG}: eficiencia alimenticia con base al consumo de agua. AOM₀: dieta control sin AOM (0 mg/kg); AOM₁₂: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM: error estándar de la media.

^{a-b} Medias (n = 6 réplicas (corrales) por tratamiento) en columna con diferente literal tienen tendencia estadísticamente (P < 0.10).

Méndez-Zamora et al. (2017) mostraron que en el día 28 el EA_{CAL} fue menor (1.59) con la suplementación de 0.4 g/kg de AO en comparación con los resultados obtenidos en esta investigación (1.73) con la suplementación de 100 mg/kg. El uso

de ácidos grasos provenientes de extractos vegetales puede ser benéfico para el transporte y la utilización de nutrientes en la producción avícola (Amer et al., 2021). Moharrerri et al. (2022) presentaron diferencias en la EA_{CAL} con 500 mg/kg de aceites esenciales. Los resultados obtenidos en EA_{CAL} del presente estudio con 100 mg/kg podría ser relacionado a los compuestos activos del AO (carvacrol y timol) ayudando a mejorar la conversión alimenticia. La EA_{CAG} sobre parámetros de producción de pollos de engorda no ha sido evaluado exhaustivamente en otras investigaciones, lo que brinda la oportunidad de considerar todos los factores que influyen en la producción.

7.6. CONSUMO DE ALIMENTO Y AGUA GLOBAL POR FASE

Las variables de consumo de alimento y agua global por fase de producción de los pollos suplementados con AOM se muestran en la Tabla 10. El CAL presentó diferencia ($P < 0.05$) entre las fases iniciación y desarrollo. En ambas fases, AOM₁₂ mostró ser el más alto y AOM₁₆ el más bajo. Numéricamente, CAG en las etapas desarrollo y finalización fue alta en AOM₁₂ y baja en AOM₁₆.

Tabla 10. Productividad global del consumo de alimento y agua en pollos suplementados con AO durante las diferentes fases de producción.

Variable/Tratamiento ¹	Iniciación	Desarrollo	Finalización
CAL (kg)			
AOM ₀	0.593 ^{ab}	1.69 ^{ab}	1.90
AOM ₁₂	0.632 ^a	1.74 ^a	1.86
AOM ₃₄	0.604 ^{ab}	1.66 ^{ab}	1.87
AOM ₅₆	0.599 ^{ab}	1.62 ^{ab}	1.87
AOM ₁₆	0.560 ^b	1.61 ^b	1.82
EEM	0.013	0.032	0.060
P-value	0.029	0.068	0.911

CAG (L)			
AOM ₀	1.37	3.27	3.92
AOM ₁₂	1.39	3.48	4.01
AOM ₃₄	1.40	3.35	3.93
AOM ₅₆	1.40	3.39	4.00
AOM ₁₆	1.29	3.40	3.86
EEM	0.046	0.089	0.198
P-value	0.677	0.581	0.992

¹ CAL: consumo de alimento; CAG: consumo de agua; AOM₁₂: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM: error estándar de la media.

^{a-b} Medias (n = 6 réplicas (corrales) por tratamiento) en columna con diferente literal difieren estadísticamente (P < 0.05).

^{a-b} Medias (n = 6 réplicas (corrales) por tratamiento) en columna con diferente literal tienen tendencia estadísticamente (P < 0.10).

Pocos estudios han reportado el uso de AE durante las etapas de producción; sin embargo, Mousapour et al. (2020) descubrieron diferencias en CAL en la etapa de desarrollo con 150 mg/kg de AE. Estas diferencias se atribuyen a distintos factores como el ambiente, la edad, manejo de los animales, dosis suministrada, composición de la dieta y factores geográficos (Zeng et al., 2015).

7.7. EFICIENCIA ALIMENTICIA GLOBAL POR FASE

La eficiencia alimenticia global no expuso diferencias (P > 0.05) entre los tratamientos (Tabla 11) y los valores tuvieron un desempeño similar a la EA por fase. Los pollos de engorde suplementados con AOM mostraron valores más bajos en EA_{CAL}, mientras que la administración de AOM en las semanas 1 y 2 resultó con una EA_{CAG} más alto.

Tabla 11. Eficiencia alimenticia global con base al consumo de alimento y agua en pollos suplementados con AO durante las diferentes fases de producción.

Variable/Tratamiento¹	Iniciación	Desarrollo	Finalización
EA_{CAL}			
AOM ₀	1.35	1.72	2.06
AOM ₁₂	1.43	1.69	1.98
AOM ₃₄	1.38	1.64	1.86
AOM ₅₆	1.36	1.66	1.86
AOM ₁₆	1.29	1.62	1.84
EEM	0.03	0.04	0.09
P- value	0.189	0.266	0.467
EA_{CAG}			
AOM ₀	3.01	3.01	3.87
AOM ₁₂	3.08	3.07	3.93
AOM ₃₄	3.11	3.00	3.54
AOM ₅₆	3.11	3.16	3.62
AOM ₁₆	2.86	3.11	3.53
EEM	0.08	0.09	0.24
P-value	0.233	0.707	0.687

¹ EA_{CAL}: eficiencia alimenticia con base al consumo de alimento; EA_{CAG}: eficiencia alimenticia con base al consumo de agua. AOM₁₂: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM: error estándar de la media.

Johnson et al. (2022) hallaron que la suplementación con AO puede tener una relación negativa con la eficiencia alimenticia durante ciertas fases de producción. Alagawany et al. (2018) presentaron mejoras en la eficiencia alimenticia con una suplementación de 250 mg de AO. Rocha et al. (2024) utilizaron AO en agua potable y evaluaron parámetros de eficiencia alimenticia sin considerar el consumo de agua.

Actualmente, el consumo de agua es una variable que debería cuantificarse para evaluar el consumo y la eficiencia de los aditivos alimentarios.

7.8. PRODUCTIVIDAD GLOBAL-TOTAL EN 41 DÍAS

En la productividad global, con respecto a la EA_{CAL} difirió ($P < 0.05$) entre los grupos experimentales (Tabla 12), los tratamientos correspondientes a la fase de desarrollo (AOM_{34}) y la suplementación durante todo el experimento (AOM_{16}) mostrando el mejor desempeño.

Tabla 12. Tasa de conversión alimenticia con base al consumo de alimento en pollos suplementados con AO durante las diferentes fases de producción.

Tratamiento ¹	Variable (kg) ²				
	GPS	CAL	CAG	EA_{CAL}	EA_{CAG}
AOM_0	0.398	4.19	8.55	1.75 ^a	3.58
AOM_{12}	0.402	4.23	8.88	1.76 ^a	3.69
AOM_{34}	0.407	4.13	8.68	1.69 ^{ab}	3.55
AOM_{56}	0.406	4.09	8.79	1.68 ^{ab}	3.62
AOM_{16}	0.402	3.99	8.55	1.65 ^b	3.54
EEM	0.011	0.084	0.268	0.021	0.09
P-value	0.648	0.333	0.915	0.021	0.730

¹ AOM_{12} : dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM_{34} : dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM_{56} : dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM_{16} : dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM: error estándar de la media.

² GPS: ganancia de peso semanal (kg); CAL: consumo de alimento (kg); CAG: consumo de agua (L). EA_{CAL} : eficiencia alimenticia con base al consumo de alimento; EA_{CAG} : eficiencia alimenticia con base al consumo de agua.

^{a-b} Medias ($n = 6$ réplicas (corrales) por tratamiento) en columna con diferente literal difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

Silva-Vázquez et al. (2018) informaron que con el uso de AO específicamente de las variedades *Poliomintha longiflora* Gray y *Lippia berlandieri* Schauer, las puntuaciones de consumo de alimento variaron de 4,0 a 4,2, coincidiendo con los valores reportados en este estudio (4,09–4,23). García et al. (2024) reportaron una diferencia estadísticamente significativa en los índices de consumo de alimento (CAL), atribuyendo que la mejora de los parámetros de rendimiento en pollos de engorde es propiciada por la suplementación con AO. Además, las condiciones ambientales desempeñan un papel importante debido a la mejora del bienestar animal. El uso de la suplementación con AO en la dieta de pollos de engorde mejora los parámetros de consumo de alimento, lo que puede atribuirse a su efecto sobre las enfermedades relacionadas con la coccidiosis (Ivanov et al., 2022).

7.9. RENDIMIENTO DE LA CARNE

Las variables de rendimiento de canal de los pollos suplementados con 100 mg/kg de AO en 42 d se presentan en la Tabla 13. La variable de RC_{CAL} mostró diferencias ($P < 0.05$) entre los tratamientos; AO_{16} tuvo el rendimiento más alto mientras que, AOM_0 , AOM_{12} y AOM_{34} tuvieron el más bajo. Las variables de PC, RC_{FRI} y R_P no mostraron diferencias ($P > 0.05$).

Tabla 13. Producción de carne de los pollos suplementados con AO en las diferentes semanas de engorda.

Tratamientos ¹	Variables ²			
	PC (kg)	RC_{CAL} (%)	RC_{FRI} (%)	R_P (%)
AOM_0	2.51	74.87 ^b	73.05	29.56
AOM_{12}	2.48	74.86 ^b	72.14	30.00
AOM_{34}	2.52	74.72 ^b	72.81	29.89
AOM_{56}	2.55	75.57 ^{ab}	72.91	30.73
AOM_{16}	2.54	76.33 ^a	72.98	29.81
EEM	0.046	0.340	0.312	0.330

P-value 0.851 0.005 0.266 0.130

¹ AOM₁₂: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM: error estándar de la media.

² PC= Peso canal; RC_{CAL}: Rendimiento canal caliente; RC_{FRI}: Rendimiento canal fría; R_P: Rendimiento pechuga.

^{a-b} Medias (n=36 (6 pollos por réplica por tratamiento) en columna con diferente literal son diferentes significativamente (P < 0.05).

Resultados similares se obtuvieron en RC_{CAL} por Cázares-Gallegos et al. (2019) donde encontraron diferencias con el uso de 200 mg/kg de AO (100 mg/kg de AO; 72 vs. 76%) en aves de engorda. El rendimiento del presente estudio fue mayor al de esos autores. Forte et al. (2018) obtuvieron mayor R_p con el uso de 200 mg/kg de extracto acuoso de orégano. Un mejor rendimiento en la carne puede atribuirse a la actividad antioxidante de los compuestos fitogénicos (Arif et al., 2022). Esta aseveración puede atribuirse al AO₁₆ (mejoró RC_{FRI}) y AOM₁₂ con AOM₅₆ quienes mejoraron el R_p. Méndez-Zamora et al. (2015) mostraron resultados equivalentes en la variable de pH (5.8 a 6.05). He et al. (2023) indicaron que un pH menor a 6.0 afecta la calidad, textura y sabor de la carne.

7.10. VARIABLES FISICOQUÍMICAS

El efecto de 100 mg/kg de AO sobre las propiedades fisicoquímicas se muestran en la Tabla 14. Los datos obtenidos en las variables de pH y PP_C fueron diferentes (P < 0.05) entre los grupos experimentales. El pH de la carne incrementó para AOM₁₆ y decreció para AOM₀.

Tabla 14. pH, retención de agua y pérdida por cocción de carne de pechugas de pollo suplementados con AO en sus semanas de producción.

Tratamiento ¹	Variables ²		
	pH	CRA (%)	PP _C
AOM ₀	5.88 ^c	60.31	22.49 ^a
AOM ₁₂	6.05 ^b	60.78	23.10 ^a

AOM ₃₄	6.03 ^b	59.68	21.47 ^{ab}
AOM ₅₆	6.05 ^b	61.29	20.38 ^b
AOM ₁₆	6.15 ^a	61.47	22.13 ^{ab}
EEM	0.021	0.885	0.500
P-value	0.000	0.624	0.005

¹ AOM₁₂: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM: error estándar de la media.

² pH: potencial de hidrógeno; CRA: Capacidad de retención de agua; PP_C: pérdida por cocción.

^{a-b} Medias (n = 24; 2 pechugas por réplica por tratamiento medidos por cada lado; PP_C: n = 12 (2 pechugas por réplica por tratamiento)) en columna con diferente literal son diferentes significativamente (P < 0.05).

El análisis de color en la carne pollos suplementadas con AO elucidó que la tendencia a una coloración amarilla (b*), saturación (Chroma) y tonalidad (Hue) presentaron diferencia (P < 0.05) entre grupos experimentales (Tabla 15). La luminosidad (L*) y tendencia a una coloración roja (a*) no fueron diferentes (P > 0.05) entre los tratamientos. El b* y saturación aumentó para AOM₀ y decreció para AOM₁₆. La carne de las pechugas de AOM₃₄ mostraron menor saturación. Con base a la tonalidad, AOM₀ obtuvo más tono que AOM₁₆.

La PP_C incrementó en AOM₀ y AOM₁₂, pero mejoró (< PP_C) en AOM₅₆. La CRA no mostró desigualdad (P > 0.05) entre los grupos experimentales evaluados. Hernández-Coronado et al. (2019) no encontraron diferencia en PP_C de pechugas de pollo con la suplementación de 400 mg/L de aceite de orégano. Los resultados de esos autores difieren con el presente estudio debido a que suplementaron el AO en el agua y en este estudio en dieta. El AO puede mejorar las rutas metabólicas para la síntesis de aminoácidos, por lo tanto, mejorar las interacciones moleculares entre el agua y proteína, mejorando la pérdida de agua (< PP_C) con el tratamiento térmico.

Tabla 15. Efecto del AO sobre los parámetros de color de la carne de las pechugas de pollo en las etapas de producción.

Tratamiento ¹	Variables ²				
	L*	a*	b*	Chroma	Hue
AOM ₀	63.29	12.38	11.74 ^a	17.17 ^a	43.53 ^a
AOM ₁₂	62.80	12.43	11.34 ^{ab}	16.89 ^{ab}	42.72 ^{ab}
AOM ₃₄	62.30	11.61	10.60 ^{ab}	15.81 ^b	42.54 ^{ab}
AOM ₅₆	63.05	12.43	11.19 ^{ab}	16.77 ^{ab}	41.94 ^{ab}
AOM ₁₆	63.14	12.34	10.24 ^b	16.07 ^{ab}	38.61 ^b
EEM	0.354	0.293	0.361	0.307	1.184
P-value	0.372	0.239	0.033	0.013	0.041

¹ AOM₁₂: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM: error estándar de la media.

² L*: luminosidad; a*: tendencia a color rojo; b*: tendencia a color amarillo; Chroma: índice de saturación; Hue: ángulo.

^{a-b} Medias (n = 24; 2 pechugas por réplica por tratamiento medidos por cada lado) en columna con diferente literal son diferentes significativamente (P < 0.05).

Las variables fisicoquímicas mostraron diferencias, Al-Hijazeen et al. (2021) obtuvieron valores diferentes en L*, a* y b* respecto al presente estudio, donde el tratamiento con menor coloración amarillo fue el suplementado con 100 mg/kg de aceite de estos autores. Chang et al. (2017) no mostraron alguna diferencia en los parámetros de color con el uso de 150 mg/kg de orégano en polvo. El color puede ser influenciado por la manera de suplementar el AO, dieta base y condiciones ambientales (Teixeira et al., 2013). Los resultados presentados en este trabajo indicaron que la adición de 100 mg/kg de AO durante seis semanas de producción (AOM₁₆) disminuye b* en la carne utilizada de las pechugas de pollo.

7.11. ANÁLISIS DE TEXTURA

La Tabla 16 presenta los datos de análisis de textura de las muestras de pechuga de los pollos de engorda suplementados con 100 mg/kg de AO durante las etapas de producción. La F_{Corte} y dureza fueron diferentes ($P < 0.05$) entre los grupos experimentales. AOM_0 fue el tratamiento con F_{Corte} más baja comparado con los tratamientos con la suplementados con 100 mg/kg de AO en las semanas de producción (AOM_{12} , AOM_{34} , AOM_{56} y AOM_{16}). Los grupos experimentales AOM_0 y AOM_{12} presentaron la dureza más alta y AOM_{34} la dureza más baja. Las variables de adhesividad, elasticidad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resistencia no fueron diferentes ($P > 0.05$) entre los tratamientos. Comparado con el tratamiento control.

Tabla 16. Análisis de textura de la carne de pechugas de pollos suplementados con AO en las diferentes etapas de su producción.

Tratamiento ¹	Variables ²							
	F_{Corte}	D	A	E	Co	G	Mast	Res
AOM_0	12.92 ^b	37.24 ^a	-8.58	0.535	0.455	16.34	7.89	0.181
AOM_{12}	13.53 ^a	37.44 ^a	-8.18	0.534	0.442	16.48	8.50	0.171
AOM_{34}	16.09 ^a	30.76 ^b	-8.12	0.528	0.466	17.44	8.42	0.184
AOM_{56}	16.18 ^a	31.45 ^{ab}	-7.07	0.528	0.467	14.97	7.21	0.184
AOM_{16}	15.74 ^a	36.77 ^{ab}	-9.93	0.529	0.479	15.55	7.90	0.185
EEM	0.900	1.58	1.01	0.009	0.011	0.771	0.412	0.005
P-value	0.029	0.003	0.369	0.974	0.231	0.239	0.197	0.338

¹ AOM_{12} : dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM_{34} : dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM_{56} : dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM_{16} : dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM: error estándar de la media.

² F_{Corte} : fuerza de corte; D: dureza; A: adhesividad; E: elasticidad; Co: cohesividad; G: gomosidad; Mast: masticabilidad; Res: resistencia.

^{a-b} Medias ($n = 24$; 2 pechugas por réplica por tratamiento medidos por cada lado) en columna con diferente literal son diferentes significativamente ($P < 0.05$).

Salama et al. (2023) encontraron menor F_{Corte} cuando suplementaron 300 y 600 mg/kg de AO. Hernández-Coronado et al. (2019) no presentaron diferencia en la dureza de la carne de pechugas de pollo cuando evaluaron la suplementación de 400 mg/kg de AO en el agua. Los hallazgos de este estudio con 100 mg/kg en dieta mostraron que la carne es más suave (< dureza) cuando el AO es suplementado en la semana 3 y 4 (fase de desarrollo). Con base a las variables de textura evaluadas: adhesividad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resistencia fueron similares al trabajo reportado por Herrera et al. (2020), quienes no obtuvieron efecto del AO. Esto puede indicar que el uso de AO como suplemento en dieta o marinado cambia la textura de la carne.

7.12. EVALUACIÓN SENSORIAL

Los atributos sensoriales de las pechugas de pollo son presentados en la Tabla 17. Las variables de jugosidad y suavidad mostraron diferencia ($P < 0.05$) entre los tratamientos. Sensorialmente, la carne de la pechuga de los pollos AOM₀, AOM₃₄, AOM₅₆ y AOM₁₆ mostraron ser la más jugosas, mientras que AOM₁₂ fue menos preferido en su jugosidad. En el atributo suavidad de la carne, AOM₀ y AOM₅₆ fueron evaluados con mejor suavidad y AOM₁₂ menos preferencia en la suavidad.

Tabla 17. Atributos sensoriales de la carne de pechuga de pollos de engorda suplementados con AO en las etapas de producción.

Tratamiento ¹	Atributos sensoriales ²				
	Olor	Sabor	Jugosidad	Suavidad	AG
AOM ₀	4.00	4.00	4.00 ^a	4.10 ^a	4.00
AOM ₁₂	4.00	3.80	3.00 ^b	3.30 ^b	4.00
AOM ₃₄	4.00	3.90	4.00 ^a	4.00 ^{ab}	4.00
AOM ₅₆	4.00	4.00	4.00 ^a	4.20 ^a	4.00
AOM ₁₆	4.00	4.30	4.00 ^a	3.90 ^{ab}	4.00

P-value	0.833	0.246	0.000	0.038	0.706
---------	-------	-------	-------	-------	-------

¹ AOM₁₂: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM: error estándar de la media.

² AG: aceptabilidad global.

^{a-b} Medianas (n= 30 evaluadores semientrenados) en columna con diferente literal son diferentes significativamente (P < 0.05).

Forte et al. (2018) mostraron diferencia en los atributos sensoriales de sabor, aceptabilidad global y suavidad con la suplementación en la dieta de 200 mg/kg de AO europeo. Así mismo, Cázares-Gallegos et al. (2019) hallaron que los evaluadores tuvieron más preferencia por la carne de pollo suplementados con AO. Hong et al. (2012) obtuvieron diferencias en la preferencia de la suavidad de la carne. Este efecto puede relacionarse con la capacidad antioxidante que aportan los compuestos del AO (timol y carvacrol). Al-Rawashdeh et al. (2022) encontraron efecto de extractos vegetales (aceite de orégano) en los atributos de olor y aceptabilidad global de la carne de pollos suplementados con compuestos fitogénicos que aportan mejoras en la nutrición y producción de pollo de engorda.

7.13. COMPOSICIÓN DE LA PECHUGA DE POLLO POR FASES

7.13.1. Iniciación

La Tabla 18 muestra las variables de análisis bromatológico de muestras de pechugas de pollo suplementados con 100 mg/kg de AO en los primeros 14 d (fase de iniciación). La humedad mostró diferencia (P < 0.05) entre los tratamientos; el AOM₁₂ obtuvo el nivel más alto de humedad seguido del AOM₀, mientras que AOM₃₄, AOM₅₆ y AOM₁₆ tuvieron menor humedad. Las cenizas mostraron diferencia (P < 0.05) entre los grupos experimentales. Las cenizas de la carne de AOM₃₄ fueron de mayor contenido, pero la carne de AOM₀ y AOM₁₂ presentaron el menor. Las variables de grasa, proteína y carbohidratos no mostraron diferencia (P > 0.05).

Tabla 18. Composición química (%) de las pechugas de pollo de la fase de iniciación de pollos suplementados con AO.

Tratamiento ¹	Humedad	Grasa	Proteína	Cenizas	Carbohidratos
AOM ₀	75.95 ^{ab}	1.79	18.08	0.93 ^b	3.21
AOM ₁₂	76.15 ^a	2.10	17.75	0.96 ^b	3.03
AOM ₃₄	73.61 ^{bc}	1.90	19.16	1.16 ^a	3.73
AOM ₅₆	74.38 ^{abc}	1.93	18.47	1.08 ^{ab}	4.01
AOM ₁₆	73.61 ^c	2.04	19.53	1.08 ^{ab}	3.72
EEM	0.54	0.13	0.52	0.03	0.28
P-value	0.002	0.506	0.104	0.001	0.133

¹ AOM₁₂: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM: error estándar de la media.

^{a-c} Medias en columna con diferente literal son diferentes significativamente ($P < 0.05$).

7.13.2. Desarrollo

El efecto de 100 mg/kg de AO en el análisis bromatológico de las pechugas de pollo se muestra en la Tabla 19 para los días 14 al 28 (fase de desarrollo). Las cenizas mostraron diferencia ($P < 0.05$) entre los grupos experimentales evaluados; AOM₀ mostró un mayor porcentaje; por otra parte, AOM₁₂, AOM₃₄, AOM₅₆ y AOM₁₆ tuvieron menores cenizas. La información del análisis de pechuga en la fase de desarrollo es escasa por lo que se puede iniciar con un área de análisis para evaluar el aprovechamiento de los extractos naturales en esta fase de producción. Popovic et al. (2019) no encontraron diferencia en el porcentaje de cenizas de pechuga de pollo con la suplementación de una mezcla de 0.05% de AE.

Tabla 19. Composición química (%) de las pechugas de pollo de la fase de desarrollo de pollos suplementados con aceite de AO.

Tratamiento ¹	Humedad	Grasa	Proteína	Cenizas	Carbohidratos
AOM ₀	75.70	1.31	17.88	1.53 ^a	3.57
AOM ₁₂	75.23	1.52	17.56	1.20 ^b	4.47

AOM ₃₄	74.74	1.45	18.14	1.14 ^b	4.51
AOM ₅₆	75.51	1.24	18.59	1.19 ^b	3.45
AOM ₁₆	76.11	1.44	17.71	1.06 ^b	3.68
EEM	0.43	0.11	0.51	0.05	0.42
P-value	0.237	0.424	0.641	0.001	0.207

¹ AOM₁₂: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM: error estándar de la media.

^{a-b} Medias en columna con diferente literal son diferentes significativamente ($P < 0.05$).

7.13.3. Finalización

La composición química de la carne de pechugas de pollo suplementadas con AO en la fase de finalización se muestra en la Tabla 20. El porcentaje de humedad y proteína fue diferente ($P < 0.05$) en la carne. La humedad fue mayor en AOM₅₆ y menor en AOM₀. Por otra parte, la proteína incrementó en AOM₀ y decreció en AOM₅₆ y AOM₁₆. Es posible que la proteína en carne disminuyó debido a la síntesis de aminoácidos que el pollo requirió para su crecimiento, lo cual causó un desbalance en procesos del crecimiento. La grasa, cenizas y carbohidratos no mostraron diferencia ($P > 0.05$) entre los grupos experimentales.

Tabla 20. Composición química (%) de las pechugas de pollo de la fase de finalización de pollos suplementados con AO.

Tratamiento ¹	Humedad	Grasa	Proteína	Cenizas	Carbohidratos
AOM ₀	74.34 ^b	1.68	19.49 ^a	1.17	3.30
AOM ₁₂	75.58 ^{ab}	1.74	17.57 ^{ab}	1.13	3.36
AOM ₃₄	75.91 ^a	1.44	17.12 ^{ab}	1.19	4.31
AOM ₅₆	76.39 ^a	1.53	15.93 ^b	1.12	4.52
AOM ₁₆	75.78 ^a	1.20	16.28 ^b	1.21	3.92

EEM	0.31	0.13	0.68	0.30	0.48
P-value	0.001	0.071	0.006	0.163	0.305

¹ AOM₁₂: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM: error estándar de la media.

^{a-b} Medias en columna con diferente literal son diferentes significativamente (P < 0.05).

7.14. MORFOLOGÍA INTESTINAL

La histología del íleon de los pollos de engorda fue evaluada de manera cualitativa y cuantitativa (Figura 13). Entre los grupos experimentales se pueden observar diferencias en la estructura de las vellosidades. AOM₀ evidenció vellosidades más anchas y criptas definidas, pero se muestran un poco dañadas. Además, AOM₁₂ reveló vellosidades mejor formadas que las comparadas con el tratamiento control, más altas y con las criptas más definidas. AOM₃₄ exhibió vellosidades deformadas pero el ancho y la profundidad de las criptas muestran estructuras similares a los otros grupos experimentales. El grupo AOM₅₆, fase de finalización, presentó vellosidades con una configuración cuadrada al terminar su crecimiento. AOM₁₆ expuso vellosidades, ancho, largo y profundidad mejor definidas comparada con los otros grupos experimentales.

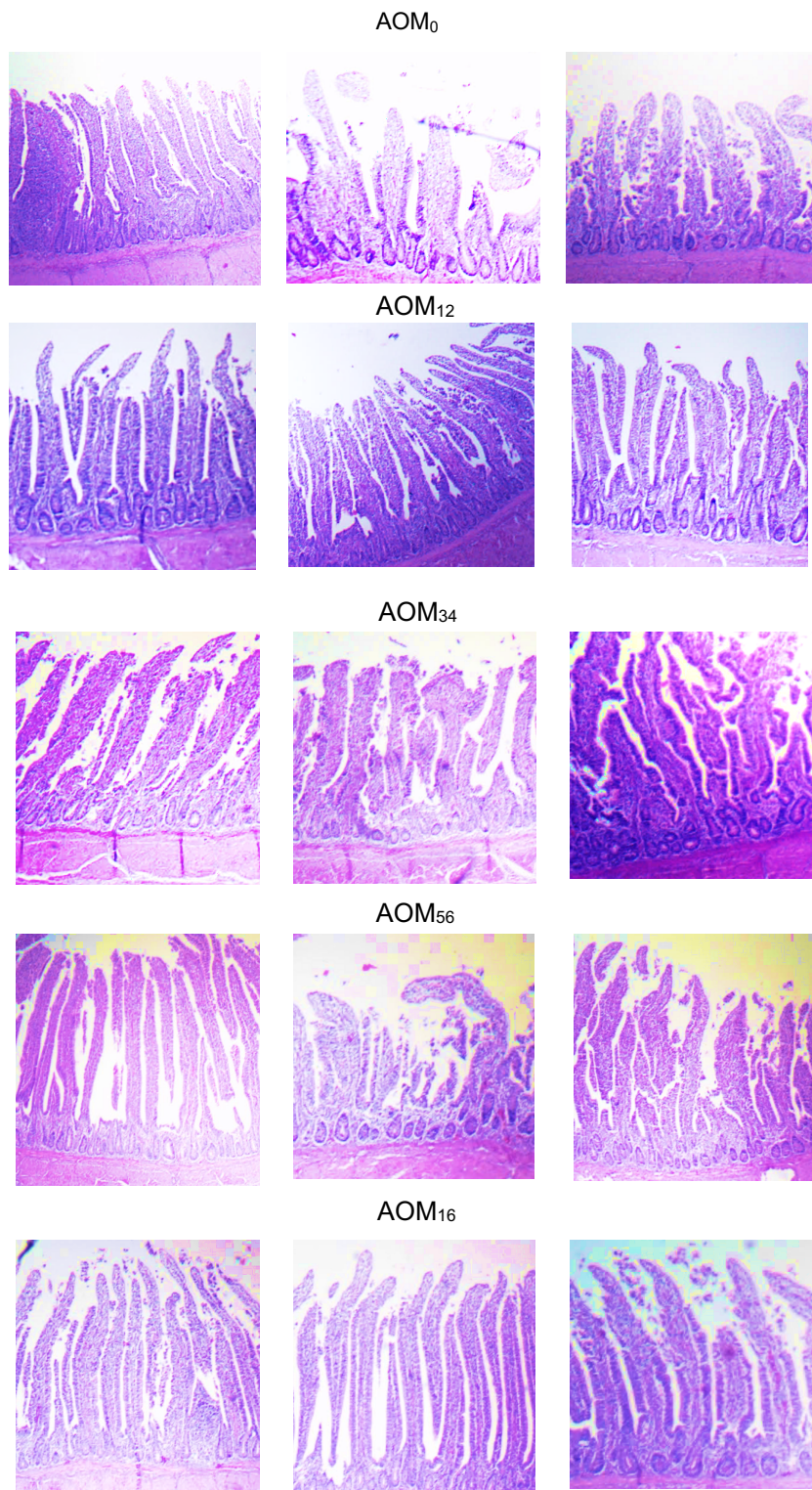


Figura 13. Histología del íleon de pollos de engorda suplementados con AO en la fase de finalización. Amplificación: 4x.

AOM₁₂: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6.

La Tabla 21 muestra las variables evaluadas en íleon, las cuales resultaron afectadas ($P < 0.05$) por los tratamientos. El largo fue más alto en los tratamientos AOM₅₆ y AOM₁₆, pero resultó menor en AOM₀ y AOM₁₂. El ancho y profundidad resultaron ser más altas en AOM₀. Y la relación L/P fue menor en AOM₀.

Tabla 21. Morfología intestinal del íleon (μm) de pollos de engorda suplementados con AO en la fase de finalización.

Tratamiento ¹	Largo (L)	Ancho	Profundidad cripta (P)	L/P
AOM ₀	707.30 ^b	98.17 ^a	237.95 ^a	3.21 ^b
AOM ₁₂	681.30 ^b	70.24 ^b	172.71 ^b	4.08 ^a
AOM ₃₄	757.30 ^{ab}	77.91 ^b	196.84 ^b	4.62 ^a
AOM ₅₆	832.30 ^a	71.41 ^b	189.45 ^b	4.06 ^a
AOM ₁₆	808.10 ^a	79.59 ^b	174.97 ^b	4.51 ^a
EEM	21.50	2.73	6.71	0.19
P value	0.001	0.001	0.001	0.001

¹AOM₁₂: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM: error estándar de la media.

^{a-b} Medias en columna con diferente literal son diferentes significativamente ($P < 0.05$).

Hernández-Coronado et al. (2019) encontraron diferencias en el largo de las vellosidades utilizando 200 mg/kg de AO en dieta y agua, los valores reportados muestran una mayor longitud comparado con los obtenidos en el presente experimento: 1138.60 vs 832.3 μm . Peng et al. (2016) mencionaron que el uso de AE genera un impacto positivo en la morfología intestinal de los pollos de engorda.

El ancho de las vellosidades mostró diferencia entre los tratamientos ($P < 0.05$) con valores similares a los de la suplementación del AO en todas las fases de producción. Moreno et al. (2021) también mostraron diferencia estadística en el ancho de las vellosidades entre los tratamientos con la suplementación de componentes naturales como polvo de moringa, obteniendo valores similares con los tratamientos suplementados con AO.

Las mediciones resultaron diferentes ($P < 0.05$) entre los grupos experimentales. Yan et al. (2019) no encontraron diferencia en la profundidad de la cripta en muestras de íleon con el uso de extractos fitogénicos, mostrando una menor profundidad comparada con las mediciones de los pollos alimentados con 100 ppm de AO. Los extractos naturales de las plantas han mostrado un efecto en las características de las vellosidades de los pollos de engorda (Jiang et al., 2020). Otros factores como la correlación existente entre las variables evaluadas es uno de los factores de mayor impacto debido a que el contenido del AE ha mostrado mejoras en la composición y su relación con algunas variables logrando eficientizar la salud intestinal, el flujo de las proteínas contenidas en el alimento hacia el torrente sanguíneo, así como beneficiar la formación del epitelio (Amer et al., 2021). Shimoura et al. (1990) observaron que la suplementación con AE en dietas presenta menor cantidad de grasa en la composición del tejido adiposo.

7.15. CORRELACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA PECHUGA CON LA MORFOLOGÍA INTESTINAL

La correlación existente entre la morfología intestinal y la composición de la pechuga se muestra en la Tabla 22. El largo y la profundidad de la cripta presentaron una correlación positiva débil ($r = 0.352$), además expuso significancia ($P < 0.05$), lo que indica que a mayor largo de vellosidad, mayor profundidad de la cripta. Por otra parte, la humedad con el largo mostró una correlación positiva pero débil, lo que indica que las vellosidades más largas, existe mayor humedad en la composición de la pechuga de pollo. Así mismo entre la proteína y largo ($r = - 0.275$; $P = 0.035$); también la profundidad de la cripta se correlacionó de forma negativa (proporción

inversa) con la humedad ($r = -0.298$; $P = 0.021$) y positiva (proporcionales) proteína ($r = 0.258$; $P = 0.048$).

Tabla 22. Análisis de correlación entre la pechuga y morfología intestinal de pollos de engorda suplementado con AO en las fases de producción.

Correlaciones/P-values	Largo (μm)	Ancho (μm)	Profundidad cripta (μm)
Profundidad cripta (μm)	0.352		
	0.006		
Ancho (μm)	-0.004		
	0.974		
Humedad (μm)	0.270	-0.105	-0.298
	0.037	0.425	0.021
Grasa (%)	-0.215	-0.029	-0.039
	0.111	0.831	0.774
Proteína (%)	-0.275	0.157	0.258
	0.035	0.234	0.048
Cenizas (%)	-0.157	-0.067	0.043
	0.239	0.610	0.744

7.16. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

Los valores de capacidad antioxidante (CA) son presentados en la Tabla 23, donde muestra diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre los tratamientos para ambos análisis. En ABTS, la carne de los grupos AOM₁₆ y AOM₃₄, que representaron la suplementación en seis semanas y la tercera-cuarta semana, presentaron los mejores valores de CA, siendo la carne de la pechuga de pollos que fueron suplementados con AO en todo el periodo de producción y en la fase de desarrollo.

En FRAP, se obtuvo un comportamiento opuesto, el AOM₀ presentó la mayor FRAP, debido a que la carne de pollo contiene ácidos grasos que presentan una alta sensibilidad al proceso de oxidación (Martínez et al., 2020). Es posible que los pollos suplementados con AO presentaron menor FRAP por el efecto del propio carvacrol y timol que tiene en la estabilidad de los ácidos grasos y no modifica estas características.

Tabla 23. Capacidad antioxidante de pechugas de pollo suplementados con AO en la fase de finalización.

Tratamiento ¹	ABTS ⁺	FRAP
AOM ₀	979.89 ^b	0.9343 ^a
AOM ₁₂	988.80 ^b	0.8129 ^{ab}
AOM ₃₄	1261.06 ^{ab}	0.7977 ^{ab}
AOM ₅₆	1144.04 ^{ab}	0.7553 ^b
AOM ₁₆	1354.27 ^a	0.7351 ^b
EEM	71.20	0.0397
P value	0.003	0.008

¹ AOM₁₂: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada solo en las semanas 1 y 2; AOM₃₄: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 3 y 4; AOM₅₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada en las semanas 5 y 6; AOM₁₆: dieta con 100 mg/kg de AOM suplementada de la semana 1 a 6. EEM= error estándar de la media.

^{a-b} Medias en columna con diferente literal son diferentes significativamente (P < 0.05).

También, estos resultados pueden ser atribuidos a los dipéptidos (por ejemplo, carnosina y anserina) que aportan capacidad antioxidante de manera natural en distintos órganos como el músculo, cerebro y corazón (Kopek et al., 2020). Esto indica la afinidad para identificar los compuestos que se encuentran en el AO, carvacrol y timol (Gholami et al., 2020). Los resultados obtenidos tienen un comportamiento afín en la mejora de la CA de la pechuga, siendo mejor expresada en la fase de desarrollo (AOM₃₄) y todo el periodo de experimentación (AOM₁₆).

7.17. CORRELACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA CARNE CON LAS VELLOSIDADES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

La Tabla 24 muestra la correlación de Pearson entre la composición química, morfología intestinal y capacidad antioxidante (CA) de pechugas de pollos suplementados con 100 mg/kg de AO. La grasa mostró significancia ($P < 0.05$) en ambos análisis, ABTS⁺ presentó una correlación negativa moderada, infiriéndose que a mayor contenido de grasa disminuye la CA; estos resultados pueden ser debido al aporte de los ácidos grasos polinsaturados que se encuentran en el AO inhibiendo la oxidación lipídica (Lee et al., 2004).

Tabla 24. Análisis de correlación de Pearson entre la composición química, morfología intestinal y capacidad antioxidante de pechugas de pollo.

Correlación	Variables ¹							
	Grasa	Proteína	Cenizas	Carbohidratos	L	P	Ancho	Humedad
ABTS ⁺	-0.433	-0.250	0.168	0.239	0.198	-0.159	-0.137	0.215
P-value	0.019	0.183	0.375	0.211	0.294	0.402	0.469	0.253
FRAP	0.395	0.274	-0.029	-0.098	-0.270	0.154	0.428	-0.403
P-value	0.034	0.143	0.844	0.615	0.149	0.416	0.018	0.027

¹ L: largo; P: Profundidad de la cripta.

El análisis de FRAP y la grasa mostraron una correlación positiva pero débil, por lo que nos indica que a mayor grasa se presenta mayor capacidad antioxidante, esto puede ser relacionado con la oxidación lipídica de algunos ácidos grasos que pueden llegar a afectar la calidad de la carne (Ávila et al., 2012). La humedad tuvo una correlación significativa ($P < 0.05$) débil-moderada, indicando que a mayor contenido de humedad se exhibe una menor actividad antioxidante. Con esto se puede indicar que la oxidación puede ser tratada con algunos extractos de plantas aromáticas como el orégano, quien actúa inactivando los radicales libres que son producidos en la carne (Basmacioglu et al., 2004).

7.18. CORRELACIONES ESPECÍFICAS ENTRE LA COMPOSICIÓN Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

El análisis de correlación entre la composición de la pechuga y los análisis de capacidad antioxidante se muestran en la Tabla 25. En el tratamiento AOM₀, la correlación negativa entre el porcentaje de proteína y ABTS mostró significancia ($P < 0.05$), esto indica que, a mayor concentración de proteína, menor contenido de compuestos antioxidantes. Méndez Zamora et al. (2015) mencionaron que los compuestos fenólicos o los componentes principales del AO no mostraron efecto en la composición química de las pechugas de pollo. No obstante, en estos resultados se observó una correlación positiva y tendencia significativa ($P < 0.10$) entre la proteína y ABTS en los grupos AOM₅₆ y AOM₁₆. Este mismo comportamiento de tendencia significativa ($P < 0.10$) fue encontrado en AOM₀ entre cenizas y carbohidratos con ABTS.

Tabla 25. Análisis de correlación de Pearson entre la composición química y efecto del AO como antioxidante en pechugas de pollo.

Correlación	Grasa	Proteína	Cenizas	Carbohidratos
AOM₀				
ABTS⁺	-0.119	-0.884	-0.777	0.761
P-value	0.822	0.019	0.069	0.079
FRAP	-0.197	0.488	0.626	-0.086
P-value	0.708	0.326	0.184	0.871
AOM₁₂				
ABTS⁺	0.579	0.447	0.099	-0.478
P-value	0.228	0.374	0.852	0.338
FRAP	0.115	0.329	0.459	0.068
P-value	0.828	0.524	0.397	0.898
AOM₃₄				
ABTS⁺	-0.088	-0.262	-0.539	0.157
P-value	0.868	0.617	0.269	0.767
FRAP	0.272	-0.237	0.298	0.375

P-value	0.602	0.651	0.566	0.463
			AOM₅₆	
ABTS⁺	-0.484	0.751	0.248	-0.438
P-value	0.330	0.086	0.635	0.385
FRAP	0.149	-0.206	0.072	-0.138
P-value	0.778	0.695	0.839	0.794
			AOM₁₆	
ABTS⁺	-0.013	0.734	0.169	-0.440
P-value	0.984	0.097	0.750	0.458
FRAP	0.087	-0.559	-0.541	0.029
P-value	0.889	0.249	0.268	0.964

8. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El uso del AOM en las fases de iniciación (AOM₁₂) y desarrollo (AOM₃₄) mejoraron los parámetros productivos en los pollos de engorda. El grupo AOM₁₂ presentó mejores índices de conversión alimenticia, mientras que AOM₃₄ presentó un consumo menor de agua y alimento, además de mejorar el peso final del pollo.

El rendimiento de la canal caliente aumentó para los pollos suplementados con AOM en la fase de finalización (AOM₅₆), además de mejorar el pH y la pérdida por cocción de la carne. Los parámetros de color disminuyeron la amarillez y tonalidad en la carne de pechuga pollos suplementados con AO, pero el índice de saturación disminuyó en AOM₃₄.

La jugosidad de la carne fue más preferida en la pechuga de pollos suplementados con AOM en la fase de desarrollo y finalización. La suavidad de la carne de pechuga fue la más preferida de los pollos suplementados durante las semanas 5 y 6 (fase de finalización; AOM₅₆).

En la composición química de las pechugas, las cenizas aumentaron con el uso de AO en la fase de iniciación y disminuyeron en la fase de desarrollo. La humedad aumentó en la fase de finalización y cuando el AO se utilizó en toda la engorda. La proteína se reduce cuando el orégano se suplementa durante la semana cinco-seis y en las seis semanas de producción de pollos de engorda.

La morfología intestinal mejoró en las fases de desarrollo y finalización, así como cuando se suplementa en las seis semanas (AOM₃₄, AOM₅₆ y AOM₁₆).

La capacidad antioxidante con ABTS y compuestos fenólicos se comportaron de manera normal en la pechuga (AOM₀), pero AOM₃₄ tuvo un mejor balance en estas propiedades, sin destacar que el AO usado en toda la producción (seis semanas) mejora la capacidad antioxidante.

El uso de 100 mg/kg de AO como suplemento en dietas para pollos de engorda se recomienda en las fases de iniciación y crecimiento para mejorar la productividad, calidad de la carne y capacidad antioxidante.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adewole, D. I., Oladokun, S., & Santin, E. (2021). Effect of organic acids–essential oils blend and oat fiber combination on broiler chicken growth performance, blood parameters, and intestinal health. *Animal Nutrition*, 7(4), 1039-1051.

Alagawany, M., A. El-Hack, M. E., Farag, M. R., H. M. Shaheen, M. A. Abdel-Latif., A. E. Noreldin, and A. K. Patra, 2018. The usefulness of oregano and its derivatives in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal*. 74(3): 463-474.

Alloui, M. N., Szczurek, W., & Świątkiewicz, S. (2013). The usefulness of prebiotics and probiotics in modern poultry nutrition: A review. *Annals of Animal Science*, 13(1), 17–32. <https://doi.org/10.2478/v10220-012-0055-x>

Al-Hijazeen, M. A., Al-Rawashdeh, M. S., & Al-Rabadi, G. J. (2021). Cooked broiler meat quality affected by different Mediterranean medicinal plants in the diet. *Animal Bioscience*, 35(2), 290.

Al-Rawashdeh, M. S., Al-Hijazeen, M. A., & Al-Rabadi, G. J. (2022). Preservative effect of dietary oregano and germander on quality and storage stability of raw broiler meat. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 32(5)

Amer, S. A., Mohamed, W. A. M., Gharib, H. S. A., Al-Gabri, N. A., Gouda, A., Elabbasy, M. T., Abd El-Rahman, G. I., & Omar, A. E. (2021). Changes in the growth, ileal digestibility, intestinal histology, behavior, fatty acid composition of the breast muscles, and blood biochemical parameters of broiler chickens by dietary inclusion of safflower oil and vitamin C. *BMC Veterinary Research*, 17(1), 68. <https://doi.org/10.1186/s12917-021-02773-5>

Arif, M., ur Rehman, A., Naseer, K., Abdel-Hafez, S. H., Alminderej, F. M., El-Saadony, M. T., ... & Alagawany, M. (2022). Effect of Aloe vera and clove powder supplementation on growth performance, carcass and blood chemistry of Japanese quails. *Poultry science*, 101(4), 101702

Avila-Ramos, F., Pro-Martínez, A., Sosa-Montes, E., Cuca-García, J. M., Becerril-Pérez, C. M., Figueroa-Velasco, J. L., & Narciso-Gaytán, C. (2012).

Effects of dietary oregano essential oil and vitamin E on the lipid oxidation stability of cooked chicken breast meat. *Poultry Science*, 91(2), 505-511.

Babatunde, O. O., Cowieson, A. J., Wilson, J. W., & Adeola, O. (2019). Influence of age and duration of feeding low-phosphorus diet on phytase efficacy in broiler chickens during the starter phase. *Poultry Science*, 98(6), 2588–2597. <https://doi.org/10.3382/ps/pez014>

Basmacioğlu, H., Tokuşoğlu, Ö. Z. L. E. M., & Ergül, M. U. S. T. A. F. A. (2004). The effect of oregano and rosemary essential oils or alpha-tocopheryl acetate on performance and lipid oxidation of meat enriched with n-3 PUFA's in broilers. *South African Journal of Animal Science*, 34(3), 197-210.

Baydar, H., Sağdıç, O., Özkan, G., & Karadoğan, T. (2004). Antibacterial activity and composition of essential oils from *Origanum*, *Thymbra* and *Satureja* species with commercial importance in Turkey. *Food control*, 15(3), 169-172.

Bedford, M., (2000). Removal of antibiotic growth promoters from poultry diets: implications and strategies to minimize subsequent problems. *World's Poult. Sci. J.* 56, 347–365.

Benchaar, C. (2020). Feeding oregano oil and its main component carvacrol does not affect ruminal fermentation, nutrient utilization, methane emissions, milk production, or milk fatty acid composition of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(2), 1516–1527. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17230>

Cázares Gallegos, R., Silva Vázquez, R., Hernández Martínez, C. A., Gutiérrez Soto, J. G., Kawas Garza, J. R., Hume, M. E., & Méndez Zamora, G. M. (2019). Performance, carcass variables, and meat quality of broilers supplemented with dietary Mexican oregano oil. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 21.

Chang-Song, R; Xian-Ren, J; Myong-Ho, et al. Effects of dietary oregano powder supplementation on the growth performance, antioxidant status and meat quality of broiler chicks. *Italian Journal of Animal Science* 2017; 16(2):246-252. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1274243>

Chowdhury, S., Mandal, G. P., & Patra, A. K. (2018). Different essential oils in diets of chickens: 1. Growth performance, nutrient utilisation, nitrogen excretion, carcass traits and chemical composition of meat. *Animal Feed Science and Technology*, 236, 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.12.002>

FAO, U. C. E. (2024). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Fukayama EH, Bertechini AG, Geraldo A, Kato RK, Murgas LDS. Extracto de orégano como aditivo en la alimentación de pollos de engorda. (2005). *Revista Brasileña de Zootecnia* ;34(6):2316-2326.

García, G. J. H., C. J. Salina, G. F. Benavides, T. E. M Romero, and O. J. Loredó. 2024. Productive Performance and Carcass Characteristics of Broiler Chickens Fed on Diets with Different Protein, Energy Levels, and Essential Oils During the Warm Season in Dry Tropics. *Animals*. 14(22): 3179.

García-Pérez, E., Fernando Francisco, C. Á., Gutiérrez-Urbe, J. A., & García-Lara, S. (2012). Revisión de la producción, composición fitoquímica y propiedades nutraceuticas del orégano mexicano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(2), 339-353.8

Gholami-Ahangaran, M., Ahmadi-Dastgerdi, A., Azizi, S., Basiratpour, A., Zokaei, M., & Derakhshan, M. (2022). Thymol and carvacrol supplementation in poultry health and performance. *Veterinary Medicine and Science*, 8(1), 267-288.

De Jong, I. C., & van Riel, J. W. (2020). Relative contribution of production chain phases to health and performance of broiler chickens: a field study. *Poultry science*, 99(1), 179-188.

Devi, K.P., Nisha, S.A., Sakthive, R., Pandian, S.K., (2010). Eugenol (an essential oil of clove) acts as an antibacterial agent against *Salmonella typhi* by disrupting the cellular membrane. *J. Ethnopharmacol.* 130, 107–115.

Hargis, B. M., Tellez, G. L., Latorre, J. D., & Wolfenden, R. (2021). Compositions, probiotic formulations and methods to promote Compositions,

probiotic formulations and methods to promote digestion and improve nutrition in poultry digestion and improve nutrition in poultry.
<https://scholarworks.uark.edu/pat>

He, P., Lei, Y., Zhang, K., Zhang, R., Bai, Y., Li, Z., ... & Lei, Z. (2023). Dietary oregano essential oil supplementation alters meat quality, oxidative stability, and fatty acid profiles of beef cattle. *Meat Science*, 205, 109317.

Hernández-Coronado, A. C., Silva-Vázquez, R., Rangel-Nava, Z. E., Hernández-Martínez, C. A., Kawas-Garza, J. R., Hume, M. E., & Méndez-Zamora, G. (2019). Mexican oregano essential oils given in drinking water on performance, carcass traits, and meat quality of broilers. *Poultry science*, 98(7), 3050-3058.

Herrera-Balandrano, D. D., Martínez-Rojas, D., Luna-Maldonado, A. I., Gutiérrez-Soto, G., Hernández-Martínez, C. A., Silva-Vázquez, R., ... & Méndez-Zamora, G. (2020). Conservación de pechugas de pollo con aceite esencial de orégano mexicano. *Biotecnia*, 22(2), 119-127.

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. Compendio de Información Geográfica Municipal. Acceso Marzo del 2026. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/#collapse-Resumen>.

Ivanov, V., & Bozakova, N. 2022. Possibilities of using oregano (*Origanum vulgare* L.) as a dietary supplement in broiler chicken and hens production. *Journal of Hygienic Engineering & Design*. 38.

Jabbar, A., Tahir, M., Khan, R. U., & Ahmad, N. (2021). Interactive effect of exogenous protease enzyme and dietary crude protein levels on growth and digestibility indices in broiler chickens during the starter phase. *Tropical Animal Health and Production*, 53(1). <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02466-5>

Jang, I. S., Ko, Y. H., Ha, J. S., Kim, J. Y., Kang, S. Y., Yoo, D. H., Nam, D. S., Kim, D. H., & Lee, C. Y. (2003). *INFLUENCE OF ESSENTIAL OILS ON PERFORMANCE AND DIGESTIVE FUNCTIONS* 395.

Johnson, A. M., G. Anderson, M. Arguelles, and A.A. Ali, 2022. Effect of dietary essential oil of oregano on performance parameters, gastrointestinal traits, blood lipid profile, and antioxidant capacity of laying hens during the pullet phase. *Frontiers in Animal Science*. 3,:1072712.

Kachur, K., & Suntres, Z. (2020). The antibacterial properties of phenolic isomers, carvacrol and thymol. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(18), 3042-3053.

Karadayi, M., Yikdirim, V., & Güllüce, M. (2020). Antimicrobial activity and other biological properties of oregano essential oil and carvacrol. *Anatolian Journal of Biology*, 1(2), 52-68.

Kopec, W., Jamroz, D., Wiliczekiewicz, A., Biazik, E., Pudlo, A., Korzeniowska, M., ... & Skiba, T. (2020). Antioxidative characteristics of chicken breast meat and blood after diet supplementation with carnosine, L-histidine, and β -alanine. *Antioxidants*, 9(11), 1093.

Martínez-González, S., Carmona-Gasca, C. A., Arredondo-Castro, M., Téllez-Isaías, G., & Avila-Ramos, F. (2020). Efecto del propóleo como aditivo y antioxidante para pollo de engorda. *Biocencia*, 22(3), 87-92.

Méndez-Zamora G, García M, Santellano E, Durán-Meléendez LA, Silva-Vazquez R. (2015). Aceite de orégano sobre la calidad de pechuga de pollos de engorda. *Investigación y Ciencia* 65:5-12.

Méndez Zamora, G., Durán Meléndez, L. A., Hume, M. E., & 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.

Moharreri, M., Vakili, R., Oskoueian, E., & Rajabzadeh, G. (2022). Effects of microencapsulated essential oils on growth performance and biomarkers of

inflammation in broiler chickens challenged with salmonella enteritidis. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(5), 349-357.

Mendoza-Ordoñez, G., Loyaga-Cortéz, B., Asunción-Alvarez, D., Paucar-Chanca, R., Ybañez-Julca, R. O., Valverde-Tamariz, J., ... & Debola, O. O. (2023). Halquinol and nanoencapsulated essential oils: A comparative study on growth performance, intestinal morphology and meat quality in broiler chickens. *Scientia Agropecuaria*, 14(4), 435-445.

Mousapour, A., Salarmoini, M., Afsharmanesh, M., Ebrahimnejad, H., & Meimandipour, A. (2020). Efficacy of savory essential oil utilization in conventional and encapsulated forms on performance of broiler chickens. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 22.

Nilkanth, R. H., Vipin, K. K., & Kumar, P. (2020). Effect of feeding of oregano oil with probiotic on gut microbiota and nutrients digestibility of broiler chicken. *J. Pharm. Innov.*, 9(3), 660-664.

NOM-033- SAG/ZOO-2014. (2014). Norma Oficial Mexicana. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres.

NOM-062-ZOO-1999, (1999). Norma oficial mexicana, especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio.

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.

Popović, S., Puvača, N., Peulić, T., Ikonić, P., Spasevski, N., Kostadinović, L., & Đuragić, O. (2019). The usefulness of dietary essential oils mixture supplementation on quality aspect of poultry meat. *Journal of Agronomy*, 11.

Ranasinghe, P., Pigera, S., Premakumara, G. S., Galappaththy, P., Constantine, G. R., & Katulanda, P. (2013). Medicinal properties of "true" cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*): A systematic review. *BMC*

Complementary and Alternative Medicine, 13. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-13-275>

Rathod, N. B., Kulawik, P., Ozogul, F., Regenstein, J. M., & Ozogul, Y. (2021). Biological activity of plant-based carvacrol and thymol and their impact on human health and food quality. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 733-748.

Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, and C. Rice-Evans. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.* 26:1231–1237.

Rebollar, E. R., Rebollar, A. R., Ancelmo, J. M., & Tenorio, G. G. (2019). Regional supply and demand for chicken meat in Mexico, 1996-2016. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 10(4), 917–932. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i4.4839>.

Rioja Antezana, A. P., Vizaluque, B. E., Aliaga-Rossel, E., Tejeda, L., Book, O., Mollinedo, P., & Peñarrieta, J. M. (2018). Determinación de la capacidad antioxidante total, fenoles totales, y la actividad enzimática en una bebida no láctea en base a granos de chenopodium quinoa. *Revista boliviana de Química*, 35(5), 168-176.

Rocha, J. J., & G.S. Archer. 2024. The Effect of supplementation with organic acid and oregano oils in drinking water on pekin duck growth and welfare. *Poultry*. 3(2): 95-106.

Salim, H. M., Huque, K. S., Kamaruddin, K. M., & Beg, M. A. H. (2018). Global restriction of using antibiotic growth promoters and alternative strategies in poultry production. *Science Progress*, 101(1), 52–75. <https://doi.org/10.3184/003685018X15173975498947>

Shimomura, Y., T. Tamura, and M. Suzuki, 1990. Less body fat accumulation in rats fed a safflower oil diet than in rats fed a beef tallow diet. *J. Nutr.* 120:1291-1296.

Silva-Vázquez, R., Meléndez, L. A. D., Estrada, E. S., Rodríguez Muela, C., Villalobos, G. V., Zamora, G. M., & Hume, M. E. (2015). Performance of broiler chickens supplemented with Mexican oregano oil (*Lippia berlandieri* Schauer). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44(8), 283-289.

Silva-Vázquez, R., Duran-Meléndez, L. A., Hernández-Martínez, C. A., Gutiérrez-Soto, J. G., Hume, M. E., & 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, e20170198.

Sánchez-Zamora, N., Silva-Vázquez, R., Rangel-Nava, Z. E., Hernández-Martínez, C. A., Kawas-Garza, J. R., Hume, M. E., & 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.

Stelter, K., Frahm, J., Paulsen, J., Berk, A., Kleinwächter, M., Selmar, D., & Dänicke, S. (2013). Effects of oregano on performance and immunomodulating factors in weaned piglets. *Archives of Animal Nutrition*, 67(6), 461-476

Tellez-Monzón, L. A., & Nolasco-Cama, D. M. (2017). Estudio de la composición química del aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare* spp.) de Tacna. *Ingeniería industrial*, (035), 195-205.

Teixeira, B., Marques, A., Ramos, C., Serrano, C., Matos, O., Neng, N., Nogueira M., Saraivab J., Nunes M., 2013. Chemical composition and bioactivity of different oregano (*Origanum vulgare*) extracts and essential oil. *Journal of the Science Food and Agriculture* 93, 2707-2714.

Wu, J., Bai, Y., Lang, X., Wang, C., Shi, X., Casper, D. P., ... & Zhang, R. (2020). Dietary supplementation with oregano essential oil and monensin in combination is antagonistic to growth performance of yearling Holstein bulls. *Journal of dairy science*, 103(9), 8119-8129.

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.

Yoncheva, K., Benbassat, N., Zaharieva, M. M., Dimitrova, L., Kroumov, A., Spassova, I., ... & Najdenski, H. M. (2021). Improvement of the antimicrobial activity of oregano oil by encapsulation in chitosan—Alginate nanoparticles. *Molecules*, 26(22), 7017.

Zaazaa, A., Mudalal, S., Alzuheir, I., Samara, M., Jalboush, N., Fayyad, A., & Petracci, M. (2022). The Impact of Thyme and Oregano Essential Oils Dietary Supplementation on Broiler Health, Growth Performance, and Prevalence of Growth-Related Breast Muscle Abnormalities. *Animals*, 12(21). <https://doi.org/10.3390/ani12213065>

Zeng Z, Zhang S, Wang H, Piao X. Essential oil and aromatic plants as feed additives in non-ruminant nutrition: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 2015;6:7.

Zhang, L. Y., Peng, Q. Y., Liu, Y. R., Ma, Q. G., Zhang, J. Y., Guo, Y. P., Xue, Z., & Zhao, L. H. (2021a). Effects of oregano essential oil as an antibiotic growth promoter alternative on growth performance, antioxidant status, and intestinal health of broilers. *Poultry Science*, 100(7). <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101163>

Zhang, L. Y., Peng, Q. Y., Liu, Y. R., Ma, Q. G., Zhang, J. Y., Guo, Y. P., Xue, Z., & Zhao, L. H. (2021b). Effects of oregano essential oil as an antibiotic growth promoter alternative on growth performance, antioxidant status, and intestinal health of broilers. *Poultry Science*, 100(7). <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101163>

Zhao, X., Zhou, C., Xu, X., Zeng, X., & Xing, T. (2022). Ultrasound combined with carrageenan and curdlan addition improved the gelation properties of low-salt chicken meat paste. *LWT*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114230>