

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFEECTO DE DIFERENTES FUENTES DE LÍPIDOS EN DIETAS DE POLLOS
DE ENGORDA SOBRE EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA CARNE

Tesis

Que presenta OMAR GUADALUPE NAJERA PEDRAZA

como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Torreón, Coahuila

Julio 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFFECTO DE DIFERENTES FUENTES DE LÍPIDOS EN DIETAS DE POLLOS
DE ENGORDA SOBRE EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA CARNE

Tesis

Que presenta OMAR GUADALUPE NAJERA PEDRAZA
Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Dr. Miguel Ángel Mellado Bosque
Director de tesis UAAAN

Dr. Jaime Salinas Chavira
Co-Director de tesis UAT


Torreón, Coahuila

Julio, 2023

EFFECTO DE DIFERENTES FUENTES DE LÍPIDOS EN DIETAS DE POLLOS
DE ENGORDA SOBRE EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y
CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA CARNE

Tesis

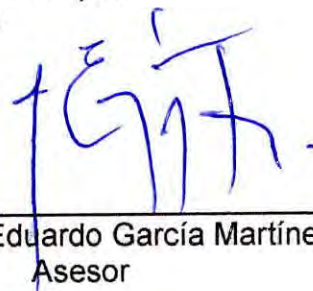
Que presenta OMAR GUADALUPE NAJERA PEDRAZA como requisito parcial
para obtener el Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN
AGROPECUARIA



Dr. Miguel Ángel Mellado Bosque
Director de tesis



Dr. Jaime Salinas Chavira
Co-director de tesis



Dr. José Eduardo García Martínez
Asesor



Dr. Jesús Alberto Mellado Bosque
Asesor



Dr. Juan Antonio Encina Domínguez
Asesor



Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Jefa del Departamento de Postgrado



Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado

AGRADECIMENTOS

A **Dios** por darme siempre las fuerzas para continuar, por guiarme en el sendero de lo sensato, darme sabiduría en los momentos difíciles y por ayudarme a aprender de mis errores y a no volver a cometerlos.

A mi **Alma Mater**, que una vez más me brindo una oportunidad de concluir este logro que nunca en mi vida lo había imaginado.

A la **Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Dr. Norberto Treviño Zapata** de la **Universidad Autónoma de Tamaulipas** y sus profesores por abrirme las puertas y brindarme su apoyo incondicional para la realización de este proyecto.

Al **Dr. Miguel Angel Mellado Bosque** por su confianza puesta en mi para darme la oportunidad de realizar este trabajo y guiarme en los pasos necesarios. Su generosidad y ayuda permanente han sido un gran apoyo durante el tiempo dedicado a la realización de la presente tesis.

De manera especial expreso mi más sincero agradecimiento al **Dr. Jaime Salinas Chavira**, por aceptarme para realizar este trabajo de investigación (tesis doctoral) bajo su dirección. Por compartir su experiencia y conocimiento, así como animarme a superarme constantemente quien además de contribuir a la formación de la presente investigación me demostró un estilo de trabajo cooperativo, profesional y humano que representa un modelo a seguir.

Al **Dr. Jose Eduardo García Martínez** por su valioso apoyo y siempre oportunas e inteligentes observaciones en la revisión, corrección y sugerencias para la mejoría de esta tesis.

Al **Dr. Jesús Alberto Mellado Bosque** por su valioso tiempo que me ha dedicado para poder realizar el presente trabajo.

Al **Dr. Juan Antonio Encina Domínguez** por ser un excelente profesor, una excelente guía y por sus consejos. Quien con la sabiduría de sus valiosos conocimientos me ayudaron a crecer de manera profesional.

Al **Dr. Fidel infante Rodríguez** por compartir el conocimiento y su experiencia en el área avícola, el cual fue una pieza fundamental para la realización de este proyecto.

A los **T.Q.A. Carlos Alberto Arévalo San Miguel y Laura Maricela Lara López** por su amistad e incondicional apoyo en la realización de los diferentes trabajos de laboratorio.

A **Aurelia Nájera**, por todas y cada una de las veces que me apoyo y ayudo en los trámites administrativos durante mi maestría y doctorado.

Al **CONAHCyT** por el apoyo económico para poder realizar mis estudios de posgrado.

A mis **amigos y compañeros** de vida que han estado ahí presentes, siempre y mucho más cuando les he necesitado.

A todos los que no están en esta línea y contribuyeron a que este trabajo de investigación se realice con éxito, en especial aquellos quienes me abrieron sus puertas y compartieron su conocimiento.

DEDICATORIAS

Este trabajo lo quiero dedicar a las personas más importantes en mi vida, a mi familia:

A mis padres **Carlota Pedraza Rivera** y **Santiago Najera Alday** que me han dado la existencia y en ella la capacidad de superarme y desear lo mejor en cada paso por este camino difícil y arduo.


A mis hermanos **Ismael** y **Alondra** porque son la razón de sentirme tan orgulloso de concluir este proyecto, gracias a ellos por confiar en mí.

A mis pequeños sobrinos **Regina** y **Leonardo** que, a pesar de estar lejos, siempre los llevo presentes.

CARTA DE ACEPTACIÓN Y ENVÍO DE LOS ARTÍCULOS

✕ Cerrar Revista Brasileira de Ciência Avícola / Brazilian Journal of Poultry Science - Decision on Manuscript ID RBCA-2022-1694.R2

🕒 Respondió el Mar 24/01/2023 02:07 PM.

 Irenilza Naas <onbehalfof@manuscriptcentral.com>
Para: Listed 🔄 📧 📄 📅
Señ: 23/01/2023 09:33 PM

21-Jan-2023

Dear Dr. Salinas-Chavira:

It is a pleasure to accept your manuscript entitled "Replacement of conventional vegetable oil with granulated fats of palm oil (prilled fats and calcium soaps) in broiler chicken diet: performance and carcass traits" in its current form for publication in the Revista Brasileira de Ciência Avícola / Brazilian Journal of Poultry Science.

The link to pay your article is:

US Dollars: <http://facta.org.br/scielo/>

Real: Banco do Brasil
Agência: 1227-0
Conta corrente: 4127-0
CNPJ: 59.017.186/0001-34
Favorecido: Fundação APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas

Please note that after the payment of the processing fees your article will undergo a reference checking, English polishing, and the editing of the final proof, and these procedures might take up to 60 days before the publication goes online.

Thank you for your fine contribution. On behalf of the Editors of the Revista Brasileira de Ciência Avícola / Brazilian Journal of Poultry Science, we look forward to your continued contributions to the Journal.

Sincerely,
Dr. Irenilza Naas
Editor-in-Chief, Revista Brasileira de Ciência Avícola / Brazilian Journal of Poultry Science
irenilza@gmail.com, irenilza@feagri.unicamp.br

📧 Responder 🔄 Reenviar

ENVIÓ DE ARTÍCULO

Dear Omar G. Nájera-Pedraza,

You are co-author in an article submitted to *Emirates Journal of Food and Agriculture* and entitled **Physicochemical traits and mineral concentrations in meat of broiler chicken fed diets with granulated lipids of palm oil (prilled fats and calcium soaps)** (Manuscript Number: EJFA-2023-05-266).

Sending author: Jaime Salinas-Chavira (jsalinas@hotmail.com)

If you think that you should not be one of the authors in this manuscript, please contact the editorial office (ejfa@uaeu.ac.ae). If you are a co-author for this paper, no further action is needed.

Thank you for submitting your work to our journal.

Best regards,

Editor
Emirates Journal of Food and Agriculture
<http://www.ejfa.me>

Índice general

| | |
|---|------|
| Resumen | xiii |
| Abstract..... | xiv |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 4 |
| 2.1 Situación Actual de la Producción de Pollos de Engorda | 4 |
| 2.2 Sistemas de Producción de Pollos de Engorda | 5 |
| 2.2.1 Densidad poblacional | 6 |
| 2.2.2 Ventilación | 7 |
| 2.2.3 Iluminación | 8 |
| 2.2.4 Suministro de alimento | 10 |
| 2.2.5 Calidad del pollito | 11 |
| 2.2.6 Salud | 11 |
| 2.2.7 Bienestar del ave..... | 12 |
| 2.2.8 Nutrición | 13 |
| 2.2.9 Temperatura..... | 14 |
| 2.2.10 Suministro de agua..... | 14 |
| 2.2.11 Estado de vacunación | 15 |
| 2.3 Comportamiento Productivo de los Pollos de Engorda..... | 16 |
| 2.4 Importancia de la Carne de Pollo | 17 |
| 2.5 Características Físicoquímicas de la Carne de Pollos de Engorda | 18 |
| 2.5.1 Extracto etéreo | 19 |
| 2.5.2 Proteínas | 19 |
| 2.5.3 Materia seca total (humedad)..... | 20 |
| 2.5.4 Color..... | 20 |
| 2.5. 5 Cenizas | 21 |
| 2.5.6 pH..... | 21 |
| 2.5.7 Minerales..... | 22 |
| 2.6 Requerimientos Nutricionales..... | 22 |
| 2.7 Lípidos en la Dieta de Pollos de Engorda..... | 26 |
| 2.8 Grasas de Sobrepasso en la Nutrición Animal | 30 |
| 2.9 Grasas Saponificadas Utilizados en las Dietas de Pollos de Engorda | 31 |

| | |
|--|----|
| 2.10 Grasas Encapsuladas de Aceite de Palma..... | 31 |
| ANEXO 1 | 33 |
| ANEXO 2 | 40 |
| CONCLUSIÓN GENERAL | 70 |
| REFERENCIAS | 71 |

Índice de Cuadros

| | |
|--|----|
| TABLA 1. Principales estados productores de pollo en 2021 | 5 |
| TABLA 2. Aporte de nutrientes | 24 |
| TABLA 3. Requerimientos nutricionales para pollos mixtos. Objetivo de peso vivo 2.0 -3.5 kg..... | 25 |

Lista de figuras

Figura 1. Factores que afectan el crecimiento y la calidad del pollo de engorda 6

Resumen

Efecto de diferentes fuentes de lípidos en dietas de pollos de engorda sobre el comportamiento productivo y características de la canal

Omar Guadalupe Nájera Pedraza
Doctor en Ciencias en Producción Agropecuaria
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dr. Miguel Ángel Mellado Bosque
Director de tesis

Se evaluó el comportamiento productivo y características de la canal de pollos de engorda alimentados con dietas empleando grasas encapsuladas (PFPO) y jabones cálcicos de aceite de palma (CaSPO) en sustitución de aceites vegetales (VO). Se utilizaron 200 pollos Ross 308 machos de 1 día de edad asignados en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×2. Las dietas incluyeron 2 niveles de PFPO y 2 niveles de CaSPO (0 y 50%). El nivel fue el porcentaje de sustitución de VO por grasas granuladas. El estudio presentó dos fases. En la fase inicial, PFPO no influyó en consumo de alimento y ganancia de peso, pero mejoró ($p=0.03$) la conversión alimenticia. En la fase final y estudio total, PFPO no afectó ($p>0,05$) estas variables. En el estudio total, CaSPO no afectó en el consumo de alimento ($p>0.50$), disminuyó la ganancia de peso y presentó un efecto negativo en la conversión alimenticia ($p<0.05$). No hubo influencia de grasas (PFPO o CaSPO) en el rendimiento de la canal ($p>0.05$). Los pollos alimentados con CaSPO presentaron peso de canal más bajos ($p=0.02$) que los alimentados con VO. La única interacción PFPO×CaSPO ($p=0.04$) fue para rendimiento de la carcasa. Los resultados mostraron que PFPO o CaSPO podrían emplearse en la formulación de dietas para pollos de engorda, por ser menos costosos que el VO. La sustitución parcial de VO por PFPO presentó un efecto mínimo sobre las variables productivas, aunque la inclusión dietética parcial de CaSPO podría reducir ligeramente la producción de los pollos.

Palabras clave: Ganancia de peso; Pollos de engorda; Aceite de palma; Grasas encapsuladas; Grasas saponificadas.

Abstract

Effect of different lipid sources in broiler diets on productive performance and carcass characteristics

Omar Guadalupe Najera Pedraza
Doctor of Science in Agricultural Production
Autonomous Agrarian University Antonio Narro

Dr. Miguel Angel Mellado Bosque
Thesis's director

This study investigated the impact of prilled palm oil fats (PFPO) and palm oil calcium soaps (CaSPO) on the performance and characteristics of broiler chickens, as substitutes for vegetable oils (VO). Two hundred 1-day-old male Ross 308 chickens were assigned to a 2×2 randomized factorial design, with diets containing two levels of PFPO (0% and 50%) and two levels of CaSPO (0% and 50%). The study consisted of a 21-day starter phase and a 21-day finisher phase. During the starter phase, PFPO had no significant effect on feed intake and body weight gain ($p>0.05$), but it did improve feed conversion ($p=0.03$). However, in the finisher phase and throughout the study, PFPO had no impact on these productivity variables ($p>0.05$). On the other hand, CaSPO did not significantly affect feed intake ($p>0.50$), but it led to reduced weight gain and negatively affected feed conversion ($p<0.05$) in both the finisher phase and the overall study. The inclusion of PFPO or CaSPO did not have a significant effect on carcass yield, breast, drumsticks plus thighs, and wings ($p>0.05$). However, chickens fed CaSPO had a lower carcass weight ($p=0.02$). The only significant interaction observed was between PFPO and CaSPO, specifically related to back yield ($p=0.04$). These findings suggest that PFPO or CaSPO can be used as cost-effective alternatives to conventional vegetable oils in broiler chicken diets. Partial substitution of VO with PFPO had minimal effects on productivity variables, while the inclusion of CaSPO might slightly reduce broiler chicken production.

Keywords: Weight gain; broiler chicken; palm oil; prilled fats; saponified fats

1. INTRODUCCIÓN

Considerando la industria avícola mundial para el año 2021 según fuentes de la Unión Nacional de Avicultores ([UNA, 2021](#)), México ocupó el quinto lugar con una producción de 3, 815 miles de ton (MT), por debajo de Estados Unidos de América, China, Brasil y Rusia. En años recientes, se ha presentado un incremento en la producción nacional de pollos de engorda. Los estados con mayor producción de carne de pollo para el año 2021 fueron: Veracruz, Jalisco, Aguascalientes, Yucatán y Puebla. La carne de pollo es una fuente de alimentación de gran relevancia, el aporte de proteínas por el sector pecuario tiene en primer lugar la carne de pollo con 38.3%, le sigue la leche de vaca con 18.8%, el huevo con 16.9%, la carne de vacuno 16.1% y la carne porcina 8.7%.

Durante la engorda de una granja avícola el logro está ligado a la alimentación proporcionada ([Bašić et al., 2012](#)). El rendimiento productivo del pollo de engorda mejora con diferentes ingredientes ricos en energía en la dieta. Los carbohidratos de los cereales suministran la mayor parte de la energía que necesitan los pollos; pero los granos de cereales no cubren las necesidades energéticas ([Infante-Rodríguez et al., 2016](#)).

En la producción avícola la energía dietética del alimento es un factor de producción transcendental, representa el 75% de los costos totales del alimento, por tal motivo es importante buscar alternativas para maximizar la digestión y garantizar la rentabilidad y sostenibilidad de las industrias avícolas ([Musigwa et al., 2021](#)).

Los lípidos como grasas y aceites son las fuentes de energía más concentrada para los animales, las dietas de las aves de corral comúnmente contienen diferentes tipos de lípidos ([Ge et al., 2018](#)). Estos contienen la densidad calórica mayor en comparación de otros nutrientes utilizados en las dietas. Los costos energéticos aumentan conforme pasa el tiempo, por tal motivo existe un mayor

interés en promover el uso de grasas suplementarias para incrementar la densidad energética de las dietas proporcionadas a los pollos de engorda para obtener un mayor rendimiento productivo ([Ravindran et al., 2016](#)).

Las principales fuentes de grasas utilizadas en las dietas de aves de engorda son los ácidos grasos de origen vegetal ([Raju et al., 2005](#)), en menor escala se usan otras grasas como el sebo de res. Aunque con un valor energético un poco más bajo, las grasas recicladas como el aceite de fritura también se utilizan y en comparación con el aceite vegetal son más económicas ([Orduña et al., 2016](#)).

El aceite de palma destaca como uno de los aceites con mayor producción a nivel global; en la alimentación animal su uso no es muy amplio. [Parveez et al. \(2021\)](#) mencionan que, en ciertas regiones del mundo, el aceite de palma puede encontrarse a un precio competitivo en relación con otros aceites vegetales o grasas animales.

En el mercado se comercializa otros tipos de lípidos (grasas saponificadas y grasas encapsuladas) que son derivadas del aceite de palma y se utilizan en alimentación de rumiantes para mejorar su eficiencia productiva y reproductiva ([Duarte et al., 2016](#)), además en algunos lugares son de menor costo que las otras fuentes de lípidos.

Los aceites vegetales convencionales tienen un precio elevado y con incrementos constantes; por lo que se requieren alternativas que los sustituyan y al mismo tiempo mantengan altos índices de rendimiento de las aves. Entre estas alternativas se encuentra las grasas saponificadas de aceite de palma. Por otro lado, las grasas encapsuladas de aceite de palma pueden no ser de menor costo que el aceite vegetal convencional, pero por su alta concentración energética y por su fácil incorporación en formulaciones dietéticas para pollos de engorda, las grasas encapsuladas tendrían la posibilidad de considerarse con potencial como alternativa al aceite vegetal convencional ([Saminathan et al., 2022](#)).

Con ambas fuentes de lípidos, aun no existe un reporte previo que las considere como sustitución parcial de las grasas de origen vegetal en dietas para pollos de engorda. La hipótesis planteada fue que la sustitución parcial de jabones cálcicos y grasas encapsuladas de aceite de palma por aceite de origen vegetal influyen positivamente sobre el comportamiento productivo y las características fisicoquímicas de la carne de pollos de engorda. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el comportamiento productivo y las propiedades fisicoquímicas de la carne de pollos alimentados con dietas que remplazan las grasas convencionales por jabones cálcicos de aceite de palma y grasas encapsuladas de aceite de palma.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Situación Actual de la Producción de Pollos de Engorda

A nivel mundial la avicultura está en constante crecimiento y sigue industrializándose en muchas partes del mundo, esto se debe al continuo crecimiento demográfico junto con el incremento del poder adquisitivo y a la creciente concentración de población urbana ([FAO, 2023](#); [Mottet & Tempio, 2017](#)).

Dentro de los desafíos actuales y futuros del sector avícola se encuentra la incidencia de enfermedades, las reglas de bienestar animal, la bioseguridad alimentaria, el ambiente que los rodea y problemas relacionados a la nutrición y alimentación ([Nkukwana, 2019](#)). Así como la confianza del consumidor, la calidad, seguridad y los tipos de productos ([Hafez & Attia, 2020](#)).

Según el sector avícola mundial, para el año 2021 con base en fuentes de la Unión Nacional de Avicultores los principales países productores de pollo son Estados Unidos de América con una producción de 20,378 MT, China con 14,700 MT, Brasil con 14,500 MT, Rusia con 10,850 MT y en quinto lugar se encuentra México con una producción de 3,815 MT. En este mismo año, en el país la industria avícola representó el 63.3% de la producción animal, dentro de esta producción el 34.9% fueron pollos de engorda y el 28.2% fue la producción de huevo ([UNA, 2021](#)).

Para 2021, la producción nacional según fuentes de la UNA se puede observar en la tabla 1 que de acuerdo al porcentaje de participación los estados de mayor producción en carne de pollo son Veracruz, Jalisco, Aguascalientes, Yucatán y Puebla.

TABLA 1. Principales estados productores de pollo en 2021

| Estado | Participación en la producción | Lugar |
|----------------|---------------------------------------|--------------|
| Veracruz | 20.47% | 1° |
| Jalisco | 15.60% | 2° |
| Aguascalientes | 9.50% | 3° |
| Yucatán | 6.43% | 4° |
| Puebla | 6.40% | 5° |
| Resto del país | 41.60% | |

[\(UNA, 2021\)](#)

2.2 Sistemas de Producción de Pollos de Engorda

El método de producción de los pollos de engorda abarca el periodo desde la llegada de las aves recién nacidas hasta su sacrificio, estos sistemas incluyen el aislamiento de las aves, aplicación de normas de bioseguridad y la comercialización de los diferentes productos obtenidos de las aves en la escala de producción deseada [\(OMSA, 2016\)](#).

Alcanzar el máximo rendimiento genético de las aves depende de la atención optima de todos los elementos que influyen en el crecimiento y la calidad del pollo de engorda, todos se correlacionan, si alguno está por debajo del optimo esto se reflejara en la calidad del pollo de engorda [\(AVIAGEN, 2018\)](#).

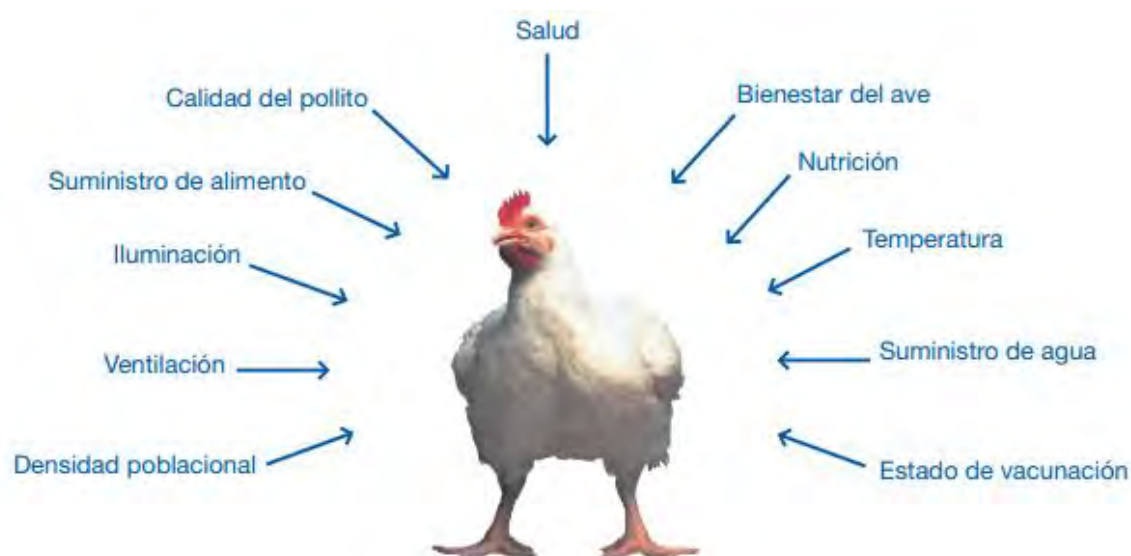


Figura 1. Factores que influyen en el crecimiento y la calidad del pollo de engorda. (Imagen tomada de [AVIAGEN, 2018](#))

2.2.1 Densidad poblacional

El número de animales por unidad de superficie o “hacinamiento” es uno de los temas más sensibles en el bienestar avícola. La respuesta inicial de personas que ven gallinas ponedoras, pavos o pollos de engorda alojados comercialmente suele preocuparse por su bienestar ([De Jonge and Hans, 2013](#); [Busch and Achim, 2015](#)).

Esta percepción pública de que el hacinamiento causa serios problemas de bienestar se refleja en los llamamientos generalizados para que se reduzca la densidad de población y para que los productores proporcionen más espacio a sus aves ([Appleby, 2004](#)).

Por otra parte, de todos los elementos que afectan en el comercio y producción, uno de los más influyentes es cuántas aves se pueden mantener en un espacio determinado, ya que se considera que la reducción del número de aves en un espacio delimitado tiene un efecto casi inevitable en la viabilidad financiera de la

explotación de pollos ([Knowles et al., 2008](#); [Petek et al., 2014](#)). Por lo tanto, existe un conflicto aparente entre los intereses de bienestar de las aves que apunta a dar más espacio a cada ave y los intereses comerciales de los productores que parecerían estar en la dirección de poner más aves en el mismo espacio. Para resolver este conflicto es fundamental comprender cuáles son realmente las necesidades de espacio de las aves de corral.

Sin embargo, a pesar de más de 25 años de investigación (revisada en pollos de engorda, p. ej., [Arnould & Leterrier, 2007](#); [Bradshaw et al., 2009](#)) aún no existe un acuerdo sobre cuánto espacio necesitan las aves y esto se evidencia en la extensa variedad de regulaciones, códigos y recomendaciones que actualmente cubren las asignaciones de espacio para las aves de corral a nivel mundial.

La [SAGARPA \(2009\)](#) menciona que la densidad de población de pollos de engorda permitida varía de 36 a 39 kg/m², pero [Mitrovi et al. \(2010\)](#) realizaron un estudio y determinaron que en clima templado continental con una densidad de población de 16 aves por m² durante 40 días los pollos de engorda produjeron alrededor de 33 kg. En otra investigación [Vargas-Rodríguez et al. \(2013\)](#) concluyeron que con la densidad de población de 16 aves/m² genera un mayor depósito de grasa en los pollos de engorda.

2.2.2 Ventilación

Una ventilación adecuada garantiza la comodidad, rendimiento biológico óptimo, bienestar y salud de las aves. Los requisitos del flujo de aire para los pollos varían según la etapa de crecimiento y las condiciones climatológicas. Por ejemplo, desde el suministro mínimo de aire fresco durante las condiciones frías (independientemente de la temperatura exterior) hasta generar una corriente de aire constante para mantener a los animales en ambientes favorables en condiciones de calor o humedad ([AVIAGEN, 2019](#)).

La capacidad de extracción debe evaluarse cuidadosamente para cada ventilador, ya que se ve afectada por la caída de presión dentro de la nave ([Gates et al., 2004](#)). El fabricante suele proporcionar las curvas de rendimiento teórico que relacionan la disminución de la presión y la velocidad de ventilación. Sin embargo, el envejecimiento y suciedad de los mecanismos, y de las propias persianas, reducen la capacidad de extracción de los ventiladores y aumentan la variabilidad en el caudal extraído por los diferentes ventiladores ([Casey et al., 2008](#)).

Considerando la dificultad de cuantificar las emisiones de gases en granjas comerciales, no es razonable esperar que se estime una tasa de ventilación con total certeza ([Gates et al., 2004](#)). Sin embargo, estudios recientes han incluido metodologías para identificar la naturaleza y magnitud de los errores asociados ([Gates et al., 2009](#), [Hoff et al., 2009](#)). En relación con esto, la tasa de ventilación se ha identificado como una fuente principal de incertidumbre al medir las emisiones de gases de un edificio para animales ([Gates et al., 2009](#)).

2.2.3 Iluminación

La iluminación es un factor de microclima poderoso e importante en las naves de pollos de engorda, influye en muchos procesos metabólicos, fisiológicos y de comportamiento en las aves ([Arowolo et al., 2019](#)). Cada vez se ha puesto más atención al efecto de la regulación de la luz sobre el crecimiento, el estado inmunitario y el bienestar de los pollos. Es esencial contar con un sistema de iluminación adecuado que considere la fuente y la intensidad de la luz, la duración y la longitud de onda óptimas (color), con el fin de mejorar el desempeño y el bienestar de los pollos de engorda ([Wu et al., 2022](#)).

Los programas de iluminación con una duración de día reducida se consideran importantes para estimular la locomoción y desarrollar los ritmos circadianos en

las aves. Sin embargo, la oscuridad prolongada reduce el crecimiento cuando se aplica durante los primeros días de vida ([Bessei, 2006](#)).

La intensidad y duración de la luz son factores cruciales en la actividad avícola, ya que influye en la fisiología y en el comportamiento de los pollos ([Schwean-Lardner et al., 2012](#)). [Raccoursier et al. \(2019\)](#) mencionan que los pollos de engorda prefieren una intensidad de luz de 20 lux en comparación con intensidades de 5 y 10 lux para la alimentación. En otro estudio [Dereli Fidan et al. \(2017\)](#) informan que con la intensidad de 20 lux mejora el desempeño de la canal, musculo pectoral y alas en comparación con intensidades más tenues. En cuanto a la duración del fotoperiodo [Bayram & Özkan, \(2010\)](#) realizaron un estudio donde utilizaron 16 horas de luz y 8 oscuridad, estos autores informan que con este programa de iluminación los pollos de engorda a 3 semanas reducen significativamente el incremento de peso, sin embargo, a las 6 semanas de edad estos pollos compensan esta deficiencia además de la ingesta de alimento y la eficiencia alimenticia. En otro estudio realizado por [Yang et al. \(2016\)](#) en el cual usaron programas de luz intermitente, mencionan que con el uso de 4 h de luz y 4 h de oscuridad se obtienen mejores resultados en la masa corporal, ingesta de alimento, conversión alimenticia, peso del tracto intestinal y la concentración de proteína total en comparación con programas de iluminación de 2 horas luz - 2 horas oscuridad y con luz continua.

[Shynkaruk et al. \(2019\)](#) registraron pollos de engorda de línea genética Ross 308 a 2 edades para cuantificar cómo la duración de la oscuridad afecta el comportamiento y altera el tracto gastrointestinal (GIT) durante 24 h. Cuatro tratamientos proporcionaron 1 (1D), 4 (4D), 7 (7D) o 10 (10D) h de oscuridad. Los análisis de regresión establecieron relaciones entre la oscuridad y las variables dependientes. A los 31 días, los análisis de regresión no mostraron ningún efecto sobre el peso corporal. La mayor cantidad de alimento consumida se observó bajo 4D. La mortalidad fue más baja por debajo de 10D. Las aves en 10D fueron las más eficientes en alimentación y tuvieron los cultivos más abundantes. El

peso de la molleja vacía aumentó a medida que incrementa la oscuridad. Conforme aumentaba la oscuridad, aumentaba la frecuencia de los turnos de alimentación y el tiempo total pasado en el comedero disminuía linealmente. A medida que las aves envejecían, la frecuencia de alimentación disminuía y la duración de los turnos de alimentación aumentaba. Los machos visitaron el comedero con más frecuencia. Las aves anticiparon períodos de oscuridad >4 h y aumentaron la actividad de alimentación antes del anochecer. Los autores concluyeron que los pollos de engorda adaptan su comportamiento de alimentación en respuesta a la exposición a la oscuridad, lo que altera el segmento GIT y el peso del contenido y la tasa probable de paso del alimento.

2.2.4 Suministro de alimento

En la producción avícola, la alimentación *ad libitum* se usa ampliamente para maximizar el crecimiento de las aves. Sin embargo, la alimentación *ad libitum* puede dar como resultado un consumo que exceda los requisitos para el mantenimiento, producción y deposición excesiva de grasa corporal lo que ocasiona una disminución en la calidad de la carne ([Butzen et al., 2013](#)) y aumenta la frecuencia del síndrome de muerte súbita, ascitis y problemas esqueléticos ([Khurshid et al., 2019](#)). Una estrategia de manejo para reducir la acumulación de grasa y prevenir alteraciones metabólicas es la restricción de alimentos ([Adeyemi et al., 2015](#); [Mohammadalipour et al., 2017](#)). La frecuencia de alimentación limitada es uno de los métodos de restricción de alimento.

[Mohamed et al. \(2019\)](#) utilizaron esta práctica, en la cual se disminuye la ingesta de alimento retirándolo durante un período determinado (generalmente 3 horas) para reducir la tasa metabólica de las aves. Se encontró que la restricción de alimento reduce la temperatura rectal, minimiza la mortalidad y disminuye la grasa abdominal en pollos de engorda con estrés por calor. Sin embargo, este

enfoque no se usa ampliamente en la industria avícola, ya que reduce la tasa de crecimiento y retrasa la edad de comercialización.

2.2.5 Calidad del pollito

Existen diversos factores que influyen en el peso y la calidad de los pollos de engorda que emergen del huevo los cuales incluyen la edad de las aves reproductoras, las condiciones de incubación y almacenamiento de los huevos ([Tona et al., 2005](#)), los cuales se clasifican como factores de preincubación e incubación. La calidad de los pollitos recién nacidos se evalúa considerando diferentes medidas cualitativas y cuantitativas como el color, la vitalidad, la calidad del ombligo, la absorción de la yema, la conformación de las patas, el pico bien formado, el peso al nacer del pollo, el peso corporal sin la yema y la longitud del pollito ([Ipek & Sözcü, 2013](#)).

Las estrategias nutricionales actuales para mejorar el crecimiento, la salud y la productividad se dirigen a los pollitos después de la eclosión, teniendo en cuenta que el embrión de pollo en desarrollo pasa una tercera parte de su vida incubado en el huevo, dependiendo de los nutrientes almacenados por el pollito, los estudios nutricionales previos a la eclosión mejorarán la salud embrionaria, la incubabilidad y la viabilidad del pollito ([Cherian, 2015](#)).

2.2.6 Salud

El sistema digestivo de los animales es un sistema microecológico complejo y existe una relación simbiótica dinámica entre la comunidad microbiana del huésped y el entorno externo ([Lee et al., 2013](#)). El papel de la comunidad de la microflora gastrointestinal (GI) en funciones de crecimiento esenciales como la digestión, la absorción, la salud y otras funciones fisiológicas es generalmente reconocido ([Pourabedin and Zhao, 2015](#)). Además, los microorganismos intestinales tienen la función de prevenir el crecimiento de patógenos, proteger al

huésped ([Waite and Taylor 2014](#)), promover el bienestar intestinal y regular la función fisiología del huésped ([Björkholm et al., 2009](#)).

El tracto gastrointestinal del pollo alberga más de 900 especies de microorganismos, los cuales desempeñan un papel importante en la descomposición y digestión de los alimentos ([Wei et al., 2013](#)). Se ha demostrado que el microbioma intestinal de pollo juega un papel fundamental en el crecimiento y la salud ([Brisbin et al., 2008](#)). Una comunidad microbiana beneficiosa puede mantener la homeostasis fisiológica normal ([Sommer and Bäckhed, 2013](#)), mientras que una comunidad microbiana dañina puede alterar la estructura de los microorganismos intestinales y causar enfermedades.

[Stanley et al. \(2012\)](#) utilizaron una infección por *Clostridium perfringens* para inducir enteritis necrótica en pollos y detectar cambios en las comunidades microbianas. Descubrieron que, además de *Clostridium perfringens*, la abundancia de *Mollicutes* sin clasificar aumentó significativamente, lo que sugiere que la perturbación de la composición de la comunidad microbiana en el ciego puede tener un papel en el desarrollo y la aparición de enfermedades en aves. Por tal motivo, es pertinente evaluar la composición de la microflora GI, que es relativamente estable en condiciones normales ([Barbosa et al., 2016](#)).

2.2.7 Bienestar del ave

Un animal se considera en un estado de bienestar cuando se encuentra sano, relajado, bien alimentado y seguro, si muestra comportamientos innatos y si no experimenta dolor, miedo y angustia ([SENASICA, 2014](#)).

Actualmente, se están desarrollando tecnologías utilizadas en la avicultura y se aplican para mejorar las condiciones de vida de las aves de corral, algunos ejemplos son: sensores para monitoreo ambiental, movimiento o parámetros

fisiológicos de la granja, tecnologías de imagen como el flujo óptico para detectar problemas de patas y picoteo de plumas, tecnologías infrarrojas para evaluar las características termorreguladoras de las aves y los cambios en el metabolismo que pueden ser indicativos de problemas de bienestar, salud y manejo ([Sassi et al., 2016](#)).

[Jones et al. \(2005\)](#) mencionan que para que los pollos de engorda tengan un bienestar es necesario controlar el medio ambiente, principalmente la temperatura, humedad relativa, la condición del aire y de la calidad de la cama, además de no olvidar tener controlada la densidad de población.

[Mulder & Zomer \(2017\)](#) analizaron la posición de los consumidores holandeses a pagar por el bienestar de los pollos de engorda, el cual demostró que el sexo femenino, personas con mayor educación, con mayores ingresos y las personas no religiosas pagaban un precio mayor por consumir carne de pollo con un mayor nivel de bienestar en comparación con pollos ordinarios.

2.2.8 Nutrición

El sistema de alimentación del pollo de engorda debe de ser funcional y eficiente en cualquiera de los casos ya sea manual o automático, también se debe de establecer programas de alimentación que cumplan con el principal objetivo de cubrir los requerimientos nutricionales de acuerdo a la edad del ave, considerando los aspectos de salud y bienestar proporcionando alimento libre de contaminantes ([SENASICA, 2019](#)).

2.2.9 Temperatura

La temperatura del pollo de engorda varía en función de la etapa de desarrollo y de la humedad relativa. Durante los primeros 14 días de vida del pollito la temperatura debe de estar entre los 35°C y 37°C debido a que las aves pierden calor principalmente por las patas. Conforme el pollo va creciendo necesita menor calor, después de dos semanas de nacidos, la temperatura optima es de 25°C y esto depende del nivel de humedad relativa en el entorno. A mayor humedad relativa se requiere menor temperatura, cuando las temperaturas son inferiores se utiliza calefacción artificial ([Cobb Vantress, 2019](#)).

El crecimiento óptimo de las aves sólo puede tener lugar cuando se crían en un intervalo de temperatura neutral (18°C a 24°C) ([Kpomasse et al., 2021](#)). En efecto, las duras condiciones ambientales restringen el crecimiento potencial de las aves ([Sohail et al., 2012](#)). Además, [Ahaotu et al. \(2019\)](#) enfatizaron la influencia negativa de las fluctuaciones estacionales en la producción avícola en diferentes partes de África. [Liverpool-Tasie et al. \(2019\)](#) sugirieron que los agricultores que habían sido confrontados ante pérdidas económicas por estrés calórico adoptar estrategias adecuadas para evitar el estrés calórico en pollos.

2.2.10 Suministro de agua

Además de ser un nutriente esencial y la sustancia más abundante en los organismos vivos, el agua puede actuar como un vehículo de contaminación, por lo que se debe tomar precauciones, como por ejemplo: verificar que consuma lo necesario para sus necesidades, asegurar la calidad bacteriológica en cada momento, se debe minimizar la contaminación de la misma y sin acceso de fauna nociva así como la limpieza de bebederos frecuentemente ([SAGARPA, 2009](#)).

El uso de agua alcalina suministrada a las aves tiene una influencia beneficiosa en su estado de salud ([Olteanu et al., 2012](#); [Olteanu et al., 2013](#)). También, el agua acidificada mejora la tasa de crecimiento (0-10 días), la morfología del yeyuno y la población de lactobacilos intestinales de los pollos de engorda ([Eftekhari et al., 2015](#)).

2.2.11 Estado de vacunación

La vacunación es un método de prevención de enfermedades el cual resulta más económico y de mejor control ([Avicultura.com, 2022](#)), el principal objetivo de las vacunas avícolas es brindar una inmunidad activa en las parvadas y dar protección a las población avícola de la exposición de enfermedades existentes en el entorno ([INTAGRI, 2015](#)).

Las principales enfermedades virales y de mayor importancia económica en Estados Unidos de América en los pollos de engorda son: bronquitis infecciosa, enfermedad de Marek, New Castle y Gumboro. Tienen un efecto inmunosupresor, que hace que los animales sean más propensos a sufrir otras infecciones ([Veterinaria Digital, 2021](#)). Por lo tanto, es necesario planear un programa de vacunación.

En México las vacunas aplicadas en granjas avícolas son para la enfermedad de New Castle, que son virus vacunales vivos formulados con cepas aisladas entre 1940 y 1960, los virus que circulan en las aves fueron la fuente de las vacunas La Sota, B1 y VG/GA, la más utilizada es la cepa La sota ya que tiene niveles más altos de anticuerpos neutralizantes en comparación con otras cepas ([Dimitrov et al., 2017](#)). La vacuna se recomienda aplicar dentro de los primeros 7 días de vida vía ocular o nasal ([ZOETIS, n.d.](#)).

Otra enfermedad a tratar es la viruela aviar, en regiones donde la enfermedad es endémica, se debe vacunar a las aves para brindar protección contra la infección, lo cual en el mercado existen una variedad de vacunas contra la viruela aviar: vacunas vivas, vivas atenuadas y recombinada. Esta vacuna puede aplicarse desde el primer día de edad ([El Sitio Avícola, 2016](#)).

2.3 Comportamiento Productivo de los Pollos de Engorda

El pollo de engorda actual se caracteriza por un acelerado crecimiento y con mejores características deseables de la carne, esto se le asocia a la selección genética, la tasa de crecimiento y la composición de aumento de peso que mejoran y siguen mejorando a través del tiempo ([Aftab, 2019](#)).

Tanto los humanos como los animales utilizan ingredientes alimenticios clave como el maíz, la soya y otros recursos naturales que genera competencia y aumento de los costos. Desde la perspectiva de la rentabilidad avícola, es importante evitar el desperdicio de alimentos, y, por lo tanto, la eficiencia alimenticia es un parámetro de suma importancia ([Prakash et al., 2020](#)).

En toda explotación pecuaria es indispensable conocer y manejar los parámetros productivos, esos sirven para conocer los resultados de la producción o en dado caso, poder detectar problemas que podrían afectar la producción de la parvada ([Itzá-Ortiz, 2020](#)). Los principales parámetros utilizados en pollos de engorda son la ingesta de alimento, ganancia de peso y la eficiencia alimenticia (índice de conversión alimenticia) que pueden calcularse dependiendo de las fases de alimentación y en total del estudio ([Infante-Rodríguez et al., 2016](#); [Orduña et al., 2016](#); [Villanueva-López et al., 2020](#)).

[Zampiga et al. \(2021\)](#) mencionan que la eficiencia alimenticia se calcula cuando los pollos de engorda son capaces de transformar el alimento consumido en crecimiento corporal y se expresa en la relación de conversión alimenticia, la cual es un indicador primordial para poder evaluar la producción avícola.

2.4 Importancia de la Carne de Pollo

Las aves para producción contribuyen significativamente a la seguridad alimentaria y la nutrición al proporcionar a las personas energía, proteínas y micronutrientes esenciales, esto se logra con procesos de producción cortos y la habilidad de transformar una diversidad de subproductos y desechos de alimentos agrícolas en carne y huevos aptos para el consumo ([Mottet & Tempio, 2017](#)).

Las aves de granja se caracterizan por su acelerado crecimiento y un mayor rendimiento principalmente de la carne de pechuga, dichas características se consideran para poder realizar una crianza con altas densidades ([Meluzzi & Sirri, 2009](#)).

La carne de pollo se obtiene por cambios bioquímicos y mecánicos generales de músculos después de realizar el proceso de sacrificio ([Tougan et al., 2013](#)) además es una fuente de alimento fundamental para la dieta de la población; es más saludable en comparación con otros tipos de carnes, es de calidad constantemente alta y es baja en grasas saturadas, así como proporcionan proteínas de alta calidad, vitaminas y minerales importantes para el ser humano ([FAO, 2013](#)).

La excesiva acumulación de tejido adiposo en los pollos de engorda actuales se deriva de los lípidos incorporados en la dieta, de tal manera se logran características deseadas como crecimiento acelerado y composición óptima de la canal por medio de la manipulación del tipo de grasa o aceite utilizados en la dieta ([Wang et al., 2015](#)).

En México, el aporte de proteínas por el sector pecuario tiene como primer lugar la carne avícola con un 38.3%, en comparación con la carne de vacuno (16.1%) y la carne de porcino (8.7%). El consumo promedio para ese mismo periodo fue de 32.51 kg de carne de pollo ([UNA.2021](#)).

De acuerdo [OECD, \(2018\)](#) en México el consumo de carne muestra un elevado cambio de manera constante durante las últimas décadas, esto derivado al incremento demográfico y al aumento de los ingresos económicos lo cual permite a las personas a cambiar de una dieta a base de cereales por una en la que se incluyen una mayor cantidad de carne.

2.5 Características Fisicoquímicas de la Carne de Pollos de Engorda

Existe un creciente interés entre los nutricionistas para optimizar la utilización de lípidos en las dietas de aves de consumo para obtener mejores beneficios económicos, las grasas se agregan a las dietas para mejorar el rendimiento productivo, incluida la calidad de la carne de los pollos de engorda ([Abdulla et al., 2019](#); [Jaapar et al., 2020](#)).

La carne de pollo forma parte de la dieta humana y es muy importante ya que aporta muchos nutrientes, sin embargo, la cantidad varía dependiendo de algunos factores, por tal motivo se realizan diversos estudios para determinar las propiedades fisicoquímicas, químicas y nutricionales en la carne de pollos de engorda ([Gálvez et al., 2020](#)).

La carne de pollo se compone en un aproximado de 60 a 80% de agua, 15 a 25% de proteína y de 1.5 a 5.3 de extracto etéreo, este último varía dependiendo de la dieta ofrecida, la edad del ave, el ambiente donde fue criado y el corte donde se realiza el análisis ([De Oliveira et al., 2016](#)).

2.5.1 Extracto etéreo

Uno de los componentes químicos de la carne es la grasa cruda y en algunas ocasiones se le denomina extracto etéreo, formada principalmente por lípidos y otras sustancias que son solubles en ciertos solventes de las grasas, el método utilizado para determinar el extracto etéreo es mediante el aparato extractor tipo Soxhlet ([AOAC, 2000](#)).

Se han realizado estudios en carne de pollo con el fin de establecer el contenido de grasa en pechuga y muslo. [Bogosavljević-Bošković et al. \(2015\)](#) y [Legawa et al. \(2018\)](#) informaron que existe un mayor contenido de extracto etéreo en la carne de pollo a medida que aumenta el extracto de éter en las dietas de los pollos.

[Gálvez et al. \(2020\)](#) documentaron niveles de extracto etéreo en carne de pollos de engorda con valores de 1.39% en carne de pechuga y 8.05% en pierna, mientras que otros autores reportan valores más altos de extracto etéreo ([Souza et al., 2011](#)) donde el sexo fue influenciado en los niveles de extracto etéreo en la carne de pechuga. [Milicevic et al. \(2015\)](#) reportan niveles de extracto etéreo en carne de pechuga de 3.85% y en pierna 8.21%.

2.5.2 Proteínas

Son compuestos nitrogenados que se integran por cadenas de aminoácidos y son indispensables para realizar diversas funciones fisiológicas. El método

utilizado para establecer el contenido de proteína total se realiza utilizando el aparato Kjeldhal ([AOAC, 2000](#)).

Hay estudios en aves de engorda donde presentan distintos niveles de proteína presentes en la carne de pollo. [Milicevic et al. \(2015\)](#) mostraron resultados de 21.82% de proteína en la carne de pechuga y 18.24% para la pierna de los pollos de engorda, [De Oliveira et al. \(2016\)](#) informan valores que varían de 19.4% a 20.2% en carne de pechuga y en muslo de 21.3% a 22.6% de proteína bruta.

2.5.3 Materia seca total (humedad)

Esta fracción es la muestra que se le ha eliminado el contenido de agua mediante calor. Contiene elementos susceptibles a quemarse al estar constituida por sustancias que incluye carbono o materia orgánica los cuales ayudan a dar energía al alimento. También está constituida por otras sustancias que son incombustibles y los residuos que se obtienen al calcinarse son cenizas. Para la obtención del contenido de materia seca total se obtiene por medio de la evaporización de la humedad a una temperatura de 100 a 105°C. Al final se puede determinar el contenido de agua presente en la muestra ([AOAC, 2000](#)).

[Abdulla et al. \(2016\)](#) encontraron valores de humedad de 73.14% a 73.65% en carne de pechuga y valores de 69.31% a 70.6% en muslo de pollos de engorda. Mas adelante, [De Oliveira et al. \(2016\)](#) encontró niveles de humedad en carne de pechuga de pollo de engorda en 71.0% a 72.4%, así mismo en muslo encontró valores que varían de 71.0% a 73.2%.

2.5.4 Color

La pigmentación de la piel está influenciada por la concentración de pigmentos en la dieta, el metabolismo del pollo, la deposición y la intensidad de los carotenoides. En algunos lugares del mundo, incluyendo a México, la coloración

de la carne es un aspecto importante para la aceptabilidad por parte del consumidor, desde hace muchos años se ha utilizado diferentes pigmentos artificiales para mejorar el color, pero actualmente se busca obtener color de ingredientes naturales que se incorporen a la dieta ([Liu et al., 2008](#)).

[Qiao et al. \(2001\)](#) reportaron que los valores normales del color en la carne de pollo en ligereza (L^*) son de 48 a 53; los valores < 48 son más oscuros y valores mayores son más claros. El enrojecimiento (a^*) de la carne de pechuga consideraron 4 como valor normal y el valor de amarillez (b^*) considera como normal de 5.56.

2.5. 5 Cenizas

Son el resultado de una combustión total de la muestra del alimento. Las cenizas están libres de carbono y se componen por sustancias minerales. La fracción incombustible de la muestra (cenizas) se determina eliminado mediante la calcinación la fracción combustible mediante temperaturas elevadas que pueden ser de 500 a 600 °C ([AOAC, 2000](#)).

En estudios realizados para determinar el porcentaje de cenizas presentes en la carne de pollos, [Milicevic et al. \(2015\)](#), [De Oliveira et al. \(2016\)](#) y [Ozturk et al. \(2010\)](#) reportan valores que varía de 0.98% a 1.5% de ceniza en carne de pechuga, Así mismo en la carne de muslo de pollo mostraron valores de 0.97% a 1.5%.

2.5.6 pH

El pH de la carne está determinado por una variedad de factores como las condiciones postmortem del animal, así como las condiciones de

almacenamiento, durante este proceso el pH de la carne tiende a incrementarse debido a la formación de compuestos químicos orgánicos derivados del amoníaco resultantes de la putrefacción. La medición del pH se realiza mediante un potenciómetro el cual utiliza la actividad electromagnética de los iones de hidrógeno presentes en la muestra para determinar su nivel de acidez ([AOAC, 2000](#)).

Estudios presentan niveles de pH en carne de pechuga de pollo de 5.68 a 6.05. mientras que en muslos obtuvieron valores de 5.76 a 6.31 ([Souza et al., 2011](#); [Gálvez et al., 2020](#)).

2.5.7 Minerales

Los minerales presentes en la carne se obtienen a partir de las cenizas y se determinan con espectrofotometría de absorción atómica de acuerdo con la metodología de la [AOAC, \(2000\)](#).

En una investigación realizada por [Gallinger et al. \(2016\)](#) informan que los minerales presentes en la carne de pollo son Sodio (Na), Potasio (K), Fosforo (P) y Hierro (Fe). Además de estos minerales [Ozturk et al. \(2014\)](#) reportan que Calcio (Ca), Cobre (Cu) y Zinc (Zn) se encuentran presentes en la carne de pollo.

2.6 Requerimientos Nutricionales

En los pollos de engorda, la nutrición es un factor fundamental para obtener una carne de mejor calidad y seguridad ([Mir et al., 2017](#)). Durante la engorda de una granja avícola el éxito depende de la dieta, la cual debe cumplir totalmente con todos los requisitos de nutrientes que necesiten las aves para permitir un crecimiento y desarrollo apropiado ([Bašić et al., 2012](#)). Una dieta adecuada incluye varios ingredientes que aportan energía y nutrientes como proteína cruda,

lípidos, fibras, minerales y vitaminas que son importantes para el crecimiento óptimo de los animales ([Babatunde et al., 2021](#)).

Los manuales de Requerimientos Nutricionales de Aves "Nutrient Requirements of Poultry" de la NRC (National Research Council) son referencia para las sociedades dedicadas a la investigación y reguladoras internacionalmente para la elaboración de dietas que valoran los requisitos nutricionales de los animales para obtener un nivel de producción adecuado ([Applegate & Angel, 2014](#)). Este manual se actualizó en 1994 desde 1984, en el cual se informan sobre nutrientes individuales y el agua, e incluye ecuaciones para predecir el valor energético de los ingredientes individuales del alimento, a partir de su análisis proximal ([NRC, 1994](#)). Los requisitos nutricionales de las aves de corral han evolucionado al igual que las razas modernas de producción de hoy en día, por lo tanto, las dietas son muy diferentes en comparación con las dietas utilizadas hace más de 50 años ([Bailey, 2019](#)).

Las materias primas utilizadas para la alimentación de los pollos de engorda deben ser frescas y de excelente calidad, tanto en términos de la facilidad de digestión de nutrientes como en su calidad física, los principales ingredientes utilizados en la alimentación de las aves de corral son: maíz, trigo, harina de soya, soya con toda su grasa, harina de girasol, de colza, aceites o grasas, caliza, fosfato, sal, bicarbonato de sodio, vitaminas, minerales y otros aditivos como enzimas o aglutinantes de micotoxinas ([AVIAGEN, 2018](#)). En la tabla 2 se describe como los pollos de engorda utilizan la energía, proteína, macrominerales, minerales traza y vitaminas y en la tabla 3 se describen los requerimientos nutricionales para pollos mixtos.

TABLA 2. Aporte de nutrientes

| Requerimiento | Características |
|-----------------------------|---|
| Energía | Los pollos de engorda utilizan la energía para el desarrollo de tejidos, el funcionamiento del organismo y la realización de actividades. Los granos de cereales, las grasas y los aceites son las fuentes principales de energía en las dietas para aves. Los estándares óptimos de energía en la alimentación dependen del requerimiento del pollo (mantenimiento, crecimiento y condiciones ambientales) y consideraciones económicas. |
| Proteína | Son compuestos de naturaleza compleja que se desintegran en aminoácidos (AA) durante el proceso de digestión. Los AA son absorbidos y se unen para crear proteínas corporales que desempeñan un papel fundamental en la formación y desarrollo de los tejidos del organismo, como los músculos, nervios, piel y plumas. El nivel real de la proteína varía de acuerdo a los ingredientes utilizados en la dieta. |
| Macrominerales | Tienen un papel fundamental para el crecimiento, el desarrollo óseo, el sistema inmune y la conversión alimenticia. Además, contribuyen a mantener la calidad de la cama en el entorno de las aves.. Los macrominerales principales son: Calcio, Fosforo, Sodio, Potasio y cloruro |
| Minerales traza y vitaminas | Se requieren para todas las actividades metabólicas, los niveles óptimos de estos micronutrientes varían según los componentes de los alimentos, el proceso de producción, la manipulación logística y las condiciones locales. |

[\(AVIAGEN, 2018\)](#)

TABLA 3. Requerimientos nutricionales para pollos mixtos. Objetivo de peso vivo 2.0 -3.5 kg.

| | | Cría | Crecimiento | Finalizado 1 | Finalizado 2 |
|--|------|-------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| Edad | Días | 0-10 | 11-24 | 25 -39 | 40 + |
| Energía por kg | kcal | 2975 | 3050 | 3100 | 3125 |
| Energía por libra | kcal | 1349 | 1383 | 1406 | 1417 |
| AMINOACIDOS DIGESTIBLES¹ | | | | | |
| Lisina | % | 1.32 | 1.18 | 1.08 | 1.02 |
| Metionina + cistina | % | 1.00 | 0.92 | 0.86 | 0.82 |
| Metionina | % | 0.55 | 0.51 | 0.48 | 0.45 |
| Treonina | % | 0.88 | 0.79 | 0.72 | 0.68 |
| Valina | % | 1.00 | 0.91 | 0.84 | 0.80 |
| Isoleucina | % | 0.88 | 0.80 | 0.75 | 0.70 |
| Arginina | % | 1.40 | 1.27 | 1.17 | 1.12 |
| Triptófano | % | 0.21 | 0.19 | 0.17 | 0.16 |
| Leucina | % | 1.45 | 1.30 | 1.19 | 1.12 |
| Proteína bruta | % | 23.0 | 21.5 | 19.5 | 18.0 |
| Minerales | | | | | |
| Calcio | % | 0.95 | 0.75 | 0.65 | 0.60 |
| Fosforo disponible | % | 0.50 | 0.42 | 0.36 | 0.34 |
| Magnesio | % | 0.05-0.30 | 0.05-0.30 | 0.05-0.30 | 0.05-0.30 |
| Sodio | % | 0.18-0.23 | 0.18-0.23 | 0.18-0.23 | 0.18-0.23 |
| Cloro | % | 0.18-0.23 | 0.18-0.23 | 0.18-0.23 | 0.18-0.23 |
| Potasio | % | 0.60-0.90 | 0.60-0.90 | 0.60-0.90 | 0.60-0.90 |
| Minerales traza añadidos por kg. | | | | | |
| Cobre | Mg | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Yodo | Mg | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 |
| Hierro | Mg | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Manganeso | Mg | 120 | 120 | 120 | 120 |
| Selenio | Mg | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| Zinc | Mg | 120 | 120 | 120 | 120 |
| Vitaminas añadidas por kg. | | | | | |
| Vitamina A | UI | 13000 | 11000 | 10000 | 1000 |
| Vitamina D ₃ | UI | 5000 | 4500 | 4000 | 4000 |
| Vitamina E | UI | 80 | 65 | 55 | 55 |
| Vitamina K ₃ | Mg | 4.0 | 3.6 | 3.2 | 3.2 |
| Tiamina (B ₁) | Mg | 5 | 4 | 3 | 3 |
| Riboflavina (B ₂) | Mg | 9 | 8 | 7 | 7 |
| Niacina | Mg | 70 | 65 | 50 | 50 |
| Acido Pantoténico | Mg | 25 | 20 | 15 | 15 |
| Piridoxina (B ₆) | Mg | 5 | 4 | 3 | 3 |
| Biotina | Mg | 0.35 | 0.28 | 0.22 | 0.22 |

| | | | | | |
|---------------------------------|----|------|-------|-------|-------|
| Ácido fólico | Mg | 2.5 | 2.0 | 1.8 | 1.8 |
| Vitamina B ₁₂ | mg | 0.02 | 0.018 | 0.016 | 0.016 |
| Especificaciones mínimas | | | | | |
| Colina por kg | Mg | 1700 | 1600 | 1500 | 1450 |
| Acido linoleico | % | 1.25 | 1.20 | 1.00 | 1.00 |

([AVIAGEN, 2022](#))

2.7 Lípidos en la Dieta de Pollos de Engorda

El rendimiento productivo del pollo de engorda mejora con diferentes ingredientes ricos en energía en la dieta, los carbohidratos de los cereales suministran la mayor parte de la energía que necesitan los pollos de engorda; sin embargo, los granos de cereales no cubren las necesidades energéticas de los pollos de engorda ([Infante-Rodríguez et al., 2016](#)). Los lípidos utilizados con mayor frecuencia en las dietas avícolas son las grasas de origen animal, los aceites vegetales y una combinación de ambos. ([Baião & Lara, 2005](#)).

Existen una amplia gama de grasas y aceites para su uso en la alimentación de aves y estos incluyen grasas para restaurantes (aceites de fritura recuperados; también conocida como grasa amarilla), subproductos de la extracción (por ejemplo, manteca de cerdo, sebo, grasa de cordero y grasa de aves), aceites vegetales (aceite de maíz, de soya y de palma), pastas de jabón aciduladas (subproductos del refinado de aceites vegetales, principalmente que contienen AG libres), grasas hidrogenadas (grasas o aceites que se convierten en AG saturados mediante la adición de un átomo de hidrógeno a dobles enlaces de ácidos grasos insaturados) y pastas de jabón aciduladas (ácidos grasos libres eliminados del proceso de refinación por álcali y sedimentados como jabones alcalinos). Estas grasas y aceites varían ampliamente en términos de composición ([Ravindran et al., 2016](#)). La elección de la grasa a utilizar, bajo una determinada condición comercial, se debe en gran medida a su costo.

Para asegurar el suministro adecuado de estos ácidos grasos esenciales, un nivel mínimo de inclusión, según [Leeson y Summers \(2005\)](#) en dietas para aves es 10 g/kg de grasas. Generalmente se agregan de 20 a 50 g/kg de grasas en las dietas comerciales para aves de acuerdo a los precios relativos de las grasas y los cereales. Generalmente se evita la adición de grasa por encima de 40 g/kg con dietas granuladas, debido a los efectos negativos sobre la calidad de los gránulos ([Abdollahi et al., 2013](#)). Sin embargo, con las nuevas tecnologías puede ser posible agregar más de 40 g/kg de grasa en estas dietas.

El uso de aceites o grasas es una práctica económica ampliamente utilizada en la producción avícola moderna porque proporcionan 2.25 veces más energía por gr que los carbohidratos. Los aceites contribuyen a la formulación de alimentos ricos en energía en dietas para aves y mejoran el rendimiento del crecimiento de las aves de engorda ([Khatun et al., 2018](#)).

Los aceites se han empleado comúnmente como suministro de energía metabolizable (EM) en dietas para mejorar la densidad de energía que se puede almacenar fácilmente en trifosfato de adenosina (ATP) por animales no rumiantes ([Jalali et al., 2015](#)). La inclusión adecuada de grasas o aceites en la alimentación de los pollos de engorda mejora la utilización de nutrientes y su rendimiento ([Wu et al., 2011](#); [Khatún et al., 2018](#); [Attia et al., 2020](#); [Villanueva-López et al., 2020](#)). La mayor parte de las investigaciones se centraron principalmente en determinar los efectos de la inclusión de aceite en la dieta sobre el rendimiento, crecimiento, la eficiencia alimenticia, la calidad de la canal, depósito de grasa en el músculo y síntesis de ácidos grasos en tejidos adiposos de pollos de engorda.

Las grasas y los aceites contienen la densidad calórica mayor en comparación de otros nutrientes utilizados en las dietas, los costos energéticos aumentan día a día, por tal motivo existe un mayor interés en acrecentar el uso de grasas suplementarias con el fin de incrementar la concentración de energía en las dietas de los pollos de engorda ([Ravindran et al., 2016](#)).

Los aceites vegetales de semillas oleaginosas con mayores concentraciones de ácidos grasos esenciales linoleico y linolénico han demostrado mejoras en los parámetros de producción de los pollos de engorda ([Itzá-Ortiz et al., 2008](#)). A diferencia de las grasas de origen animal, los aceites de origen vegetal incluyen una inmensa gama de ácidos grasos poliinsaturados esenciales (PUFA) que juegan un papel biológico importante como componente estructural de las membranas celulares. Se conoce que los perfiles de ácidos grasos de los aceites vegetales individuales no corresponden a la proporción de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados necesaria para satisfacer las necesidades fisiológicas de humanos y animales ([Vertiprakhov et al., 2020](#)).

El aceite de palma a pesar de ser uno de los aceites más producidos, tiene un uso limitado en la alimentación animal, [Parveez et al. \(2021\)](#) mencionan que en algunos lugares el aceite de palma puede ser adquirido a un costo competitivo en comparación con otras opciones de aceites vegetales o grasas animales.

Los pollos de engorda alimentados con raciones bajas en grasa mostraron menor rendimiento de crecimiento, menos plumas y alta mortalidad que afectó la producción total de carne ([Nooraida y Abidah 2020](#)). Sin embargo, se ha documentado ampliamente que los pollos de engorda que reciben dietas con raciones de alto contenido energético mejoran la ingesta de alimento y energía, ganancia diaria de peso y la eficiencia alimenticia ([Abdulla et al., 2016](#); [Nooraida y Abidah 2020](#)). Los aceites también han sido utilizados en las dietas de pollos de engorda criados a temperatura ambiente alta con el fin de incrementar la concentración de la energía en el alimento y promover el rendimiento del crecimiento de las aves ([Mujahid et al., 2009](#)).

Además, el aceite de palma podría ser menos costoso en algunas áreas del mundo en relación con otros aceites, y su uso generalizado en la nutrición de las aves de engorda podría reducir los costos de alimentación y mejorar el rendimiento y producción.

En un estudio realizado por [Panja et al. \(1995\)](#) encontró que la adición de 60 g/kg de aceite de palma en la alimentación de pollos de engorda mejoró la ganancia de peso en un 12.4 % y consumo de energía en condiciones cálidas y húmedas comparables a los pollos de engorda alimentados con aceite de soya. Asimismo, la alimentación a base de una dieta consistente en 60 g/kg de aceite de palma resultó en una ganancia diaria promedio significativamente más alta (ADG, 1.87 g/día) y mayor altura de las vellosidades duodenales (101 μ m) en pollos de engorda machos (Cobb 500) que el alimentado con semillas de aceite de lino ([Abdulla et al., 2016](#)).

Un estudio reciente de [Nooraida y Abidah \(2020\)](#) mostró que la suplementación de 40 g/kg de CPO adicionados a la dieta de pollos de engorda Cobb 500 incrementó la ganancia de peso y peso de la canal en 0.72 y 0.61 kg, respectivamente, que el grupo control. En otro estudio de [Long et al. \(2019\)](#) informó que la inclusión de 40 g/kg o 60 g/kg de aceite de palma no afectó significativamente a ADG pero presentó un consumo de alimento diario promedio más bajo y relación alimenticia comparándose con aves alimentadas con una dieta basal desde el día 1 hasta el día 42. [Long et al. \(2019\)](#) mostró que los pollitos de la variedad Arbor Acres alimentados con 30 g/kg de aceites vegetales mixtos que contienen 20% de aceite de palma mostraron mayor GMD (59.5 g/día) que la alimentada con aceite de soya solo (54.9 g/día) en un período de prueba general (1 a 42 días). La mejora en la ganancia de peso podría deberse a los efectos favorables de el contrapeso entre ácidos grasos saturados (de 20% de aceite de palma) y ácidos grasos poliinsaturados (del 15% de aceite de linaza) en aceites mixtos.

En el otro estudio, [Nwoche et al. \(2003\)](#) informaron que el reemplazo parcial de maíz con inclusión óptima de aceite de palma (40 g/kg) se obtuvo un aumento significativo en el peso corporal en un 8.4% y menos costo por unidad de ganancia de peso en comparación con las aves que fueron alimentadas con la dieta control (dieta sin adición de aceite de palma).

2.8 Grasas de Sobrepasso en la Nutrición Animal

La explotación de la palma aceitera es una industria con mucho potencial que asegura la salud alimentaria de los aceites y grasas, debido al crecimiento de la población y a los diferentes usos, la demanda de aceite de palma está en crecimiento. ([Khatun et al., 2017](#)). Además, del uso de aceite de palma crudo existen otros derivados o presentaciones como oleínas o jabones de calcio ([Medel et al., 2002](#)).

Las grasas de sobrepasso también conocidas como grasas de escape, grasa ruminal inerte o grasas protegidas ofrecen mayor porcentaje de energía por lo tanto tienen un precio más elevado en comparación con otras grasas comerciales ([Singh & Arumbaka, 2021](#)). Estas grasas resguardan al nutriente de la degradación y la biohidrogenación en el rumen aumentando la concentración energética de la dieta ofrecida, lo que permite que los animales obtengan los requerimientos de energía y ácidos grasos esenciales desarrollando su potencial al máximo ([Di et al., 2018](#)).

En novillos de engorda se informa que se puede adicionar grasas de sobrepasso en las dietas de finalizado y no hay reducción en el peso corporal final, aunque se puede presentar una disminución mínima en el marmoleo y los puntajes de calidad ([Warner et al., 2015](#)).

Estudios mencionan que el uso de grasas de sobrepasso en ovejas utilizando diferentes tipos de grasas protegidas demuestran que tienen resultados favorables en la fermentación ruminal y en los parámetros productivos en ovejas Dorper ([Behan et al., 2019](#)). También con la suplementación de jabones cálcicos de ácidos grasos de aceite palma mostró efectos benéficos al aumentar el nivel de grasa y el rendimiento lácteo de las ovejas adicionando un 4% de los jabones cálcicos de de aceite de palma ([Abdel-Hakim et al., 2016](#)).

2.9 Grasas Saponificadas Utilizados en las Dietas de Pollos de Engorda

Los jabones cálcicos derivados del aceite de palma se obtienen mediante el proceso de saponificación y se emplean en la alimentación de rumiantes. ([Salinas et al., 2006](#)). Debido a la forma granulada de los jabones de calcio, es simple la incorporación en las dietas para pollos de engorda y son resistentes a la oxidación ([Çalik et al., 2019](#)). Además, en algunos lugares, los jabones de calcio tienen costos más bajos que las fuentes convencionales de lípidos utilizadas en formulaciones de pollos de engorda.

[Dewi et al. \(2011\)](#) mencionan que en pollos de engorda el 5% de jabones cálcicos de aceite de palma suministrado en la dieta aumentó la ingesta de alimento, mientras que el 15% causó una disminución en el consumo alimenticio; el peso vivo al final no fue afectado por el % de jabones de calcio en la dieta.

En otro estudio [Villanueva-López et al., \(2020\)](#) observaron resultados productivos similares en pollos de engorda que fueron alimentados con dietas en las que el aceite vegetal o las grasas recicladas fueron reemplazadas por jabones de calcio derivados del aceite de palma.

2.10 Grasas Encapsuladas de Aceite de Palma

Durante el proceso de extracción del aceite de palma, se generan grasas encapsuladas de aceite de palma. En este proceso, el aceite se limpia y destila para generar una grasa con un 99% de extracto etéreo. Esta grasa resultante contiene aproximadamente un 85-90% de ácido palmítico (C16:0). Después, la grasa es sometida a un proceso industrial en el cual se encapsula y se transforma en pequeñas esferas con un diámetro de 1 a 2 mm. Existen pocos estudios de investigación en animales no rumiantes sobre el uso de grasas encapsuladas de

aceite de palma en la alimentación. Sin embargo, se ha observado en cerdos destetados que la adición de grasas encapsuladas en la dieta mejora la digestibilidad total del extracto etéreo y reduce la incidencia de diarrea en comparación con las dietas que contienen aceite de palma directamente ([Ren et al., 2020](#)).

En pollos de engorda, [Jaapar et al. \(2020\)](#) informan mejoras en la ganancia de peso, tasa de conversión alimenticia y digestibilidad de nutrientes al agregar 1% de grasas encapsuladas de aceite de palma en lugar de utilizar aceite de palma; sin embargo, las grasas encapsuladas a niveles del 5% o superiores redujo los indicadores de producción de los pollos de engorda.

ANEXO 1



ISSN 1516-635X 2023 / v.25 / n.2 / 001-008

<http://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2022-1694>

Original Article

■ Author(s)

- Nájera-Pedraza OG¹  <https://orcid.org/0000-0003-0394-6021>
- Meléndez-Bosque MA²  <https://orcid.org/0000-0002-3341-0660>
- García-Martínez JE²  <https://orcid.org/0000-0002-0612-704>
- Erizola-Domínguez JA²  <https://orcid.org/0000-0002-2758-1197>
- Salinas-Chavira J¹  <https://orcid.org/0000-0002-3149-3413>

¹ Department de Animal Nutrición, Autonomous Agrarian University Antonio Narro, Saltillo, Mexico.

² Department of Animal Nutrition, Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Autonomous University of Tamaulipas, Ciudad Victoria, Mexico.

■ Mail Address

Corresponding author e-mail address
Jaime Salinas-Chavira
Universidad Autónoma de Tamaulipas,
Facultad de Medicina Veterinaria y
Zootecnia - Nutrición Animal - km. 5,
carretera Cd. Victoria a cd. Mante Victoria,
Tamaulipas 87000 - Mexico.
Phone: +52 83 43073376
Email: jsalinasc@hotmail.com

■ Keywords

Weight gain, broiler chicken, palm oil, prilled fats, saponified fats.



Submitted: 01/July/2022
Approved: 21/January/2023

Replacement of Conventional Vegetable Oil with Granulated Fats of Palm Oil (Prilled Fats and Calcium Soaps) in Broiler Chicken Diet: Performance and Carcass Traits

ABSTRACT

This study evaluated the productive performance and carcass characteristics of broiler chickens fed diets containing prilled fats of palm oil (PFPO) or calcium soaps of palm oil (CaSPO) replacing vegetable oils (VO). A total of two hundred 1-day-old male Ross 308 chickens were allocated in a 2 × 2 randomized factorial design. Diets included 2 PFPO levels (0 and 50%) and 2 CaSPO levels (0 and 50%). The level was the percentage of substitution of VO by granulated fats. The study had two phases (starter and finisher), each lasting 21 days. In the starter phase, PFPO did not influence (main effects; $p>0.05$) feed intake and body weight gain, but improved (main effect; $p=0.03$) feed conversion. In the finisher phase and the total study, PFPO had no effect ($p>0.05$) on these productive variables. Throughout the study, CaSPO did not influence feed intake (main effect; $p>0.50$), but decreased weight gain and had a negative effect on feed conversion (main effects; $p<0.05$). There was no influence of fats (PFPO or CaSPO) on carcass yield, breast, drumsticks plus thighs, and wings (main effects; $p>0.05$). Chickens fed CaSPO had lower (main effect; $p=0.02$) carcass weight. The only PFPO × CaSPO interaction ($p=0.04$) was for back yield. Results showed that PFPO or CaSPO could be employed in formulating broiler chicken diets, as they are less expensive than conventional VO. Partial substitution of VO for PFPO had minimal effect on productive variables, although partial dietary inclusion of CaSPO might slightly reduce the production of broiler chickens.

INTRODUCTION

Broiler chickens produced intensively have high energy requirements that are not met with cereal grains such as corn or sorghum; therefore, lipids are included in diets to increase caloric density, in order to meet these high growth energy requirements (Infante-Rodríguez *et al.*, 2016). Animal fats, vegetable oils, and a mixture of both are the most common sources of lipids in poultry diets (Baião & Lara, 2005).

Vegetable oils from oilseeds, with their higher concentrations of essential fatty acids such as linoleic and linolenic acids, improve the productive performance of broiler chickens (Itzá-Ortiz *et al.*, 2008). Palm oil is one of the most abundant oils in the world; it is mainly used in the food industry, but its use as animal feed is limited. In some areas of the world, palm oil is as competitive in price as other vegetable oils or animal fats (Parveez *et al.*, 2021).

Previous research found adequate productive performance of broiler chickens fed palm oil (Valencia *et al.*, 1993). It was later reported that calcium soaps of palm oil (CaSPO) are produced by saponification and used in ruminant feeding (Salinas *et al.*, 2006). Because of the granulated form of CaSPO, their incorporation into broiler chicken diets

Nájera-Pedraza OG, Mellado-Bosque MA,
García-Martínez JE, Encina-Domínguez JA,
Salinas-Chavira J



Replacement of Conventional Vegetable Oil with Granulated Fats of Palm Oil (Prilled Fats and Calcium Soaps) in Broiler Chicken Diet: Performance and Carcass Traits

is simple, and they are resistant to oxidation. Besides, in some places, CaSPO are cheaper than conventional lipid sources used in formulations for broiler chickens.

Dewi *et al.* (2011) reported that 5% CaSPO in broiler chickens' diet increased feed intake, while the incorporation of 15% CaSPO reduced feed intake. However, the final live weight was not influenced by CaSPO level in the diet. In our previous work (Villanueva-Lopez *et al.*, 2020), we reported similar productive performance in broiler chickens fed diets in which vegetable oil or recycled fats were replaced with CaSPO. We concluded that CaSPO represents an alternative to partially replace conventional vegetable oils (VO) in diets for broiler chickens, particularly in countries where CaSPO are cheaper than traditional VO; however, reports on this topic are very limited. In our previous work (Villanueva-Lopez *et al.*, 2020), we used CaSPO and recycled fats in the chicken's diet, while the current study tested CaSPO and PFPO in chicken feeding. To the best of our knowledge, there is no previous research using PFPO in broiler chicken feeding.

Prilled fats of palm oil (PFPO) are produced during the palm oil process. During this procedure, palm oil is cleaned and distilled to generate a fat with 99% crude fat, which contains 85 to 90% palmitic acid (C16:0). This fat is industrially processed, being encapsulated and producing small spheres (tiny pearls) of 1 to 2 mm in diameter. PFPO are used in ruminant feeding but reports of its use in non-ruminant animals are scarce. In weaned pigs, greater ether extract digestibility in the total digestive tract and a lower incidence of diarrhea have been found when PFPO are added to diet when compared to diets containing palm oil (Ren *et al.*, 2020). In broiler chickens, body weight gain, feed conversion rate, and nutrient digestibility have improved with the substitution of 1% palm oil with PFPO; however, 5% PFPO reduced the productive variables of broiler chickens (Jaapar *et al.*, 2020).

Nowadays, conventional vegetable oils from oilseeds are expensive; thus, replacements are necessary to substitute VO from oilseeds without altering the productive variables of broiler chickens, with CaSPO being an alternative. On the other hand, PFPO may not be cheaper than conventional VO; however, with its high energy concentration and easy incorporation into diets for broiler chickens, PFPO could be an alternative to replace conventional VO. There is no previous report using both CaSPO and PFPO in broiler chickens' diets as a partial substitution of VO. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the productive

performance and carcass characteristics of broiler chickens fed diets with calcium soaps and prilled fats from palm oil as a replacement for conventional vegetable oil.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The study was carried out at the poultry farm of the College of Veterinary Medicine and Animal Science of the Autonomous University of Tamaulipas, Ciudad Victoria, Tamaulipas (a subtropical area in northeastern Mexico). The site is located at 23°44'06"N and 97°09'50"W, at an altitude of 323 m. The mean annual rainfall is 926 mm, and the yearly average temperature is 24 °C (INEGI, 2017). These climatic characteristics are typical for the dry subtropics (ACw).

Animals and diets

All animal care and management procedures were approved by the Bioethics Committee of the College of Veterinary Medicine and Animal Science of the Autonomous University of Tamaulipas (reference 001-20-CI).

Two hundred, 1-day-old male Ross 308 broiler chickens weighing 41.9±1.07 g (mean ± SD) were obtained from a commercial hatchery. Each treatment (diet) included 50 birds randomly assigned to five replicates of ten animals each. During the whole experiment, birds were housed in 20-floor pens with ground grass straw as bedding material. Twenty-four hours of light per day were provided during the whole trial. Each pen had an automatic drinker and a manually filled feeder. Space allocation was of ten birds per square meter. Water and feed were offered *ad libitum*. Birds were vaccinated on day 7 of the trial against fowlpox (wing puncture) and Newcastle (ocular) using the La Sota strain.

Chickens were raised following standard commercial practices. Two feeding phases were used: 1–21 (starter) and 22–42 days of age (finisher). There were four treatments (T) for starter and finisher diets. The only difference between experimental diet compositions was the lipid source: in T1 it was 100% vegetable oil (VO), whereas T2 included 50% VO + 50% Ca soap of palm oil (CaSPO), T3 contained 50% VO + 50% prilled fat of palm oil (PFPO), and T4 had 50% CaSPO + 50% PFPO. Diets were prepared according to the recommendations of the National Research Council (NRC, 1994) for poultry (Tables 1 and 2).

Nájera-Pedraza OG, Meliádo-Bosque MA,
García-Martínez JE, Encina-Domínguez JA,
Salinas-Chavira J



Replacement of Conventional Vegetable Oil with Granulated Fats of Palm Oil (Prilled Fats and Calcium Soaps) in Broiler Chicken Diet: Performance and Carcass Traits

Table 1 – Ingredient and nutrient compositions of the experimental diets (%) for the starter phase (1-21 days of age).

| Ingredients | 0% PFPO | | 50% PFPO | |
|-------------------------------|----------|-----------|----------|-----------|
| | 0% CaSPO | 50% CaSPO | 0% CaSPO | 50% CaSPO |
| Sorghum grain | 58.9 | 58.9 | 58.9 | 58.9 |
| Soybean meal | 33.7 | 33.7 | 33.7 | 33.7 |
| Vegetable oil (VO) | 3.4 | 1.7 | 1.7 | 0 |
| PFPO | 0 | 0 | 1.7 | 1.7 |
| CaSPO | 0 | 1.7 | 0 | 1.7 |
| Premix* | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Nutrient composition | | | | |
| Crude protein, % | 21.4 | 21.4 | 21.4 | 21.4 |
| Metabolizable energy, kcal/kg | 3040 | 3040 | 3040 | 3040 |

CaSPO= Calcium soaps of palm oil; PFPO= Prilled fats of palm oil

*Premix: monocalcium phosphate, calcium carbonate, common salt, growth promoter (BDM and 3-nitro), sodium monensin, mineral oil, ethoxyquin, retinol (vitamin A-acetate), cholecalciferol-D3 (vitamin D3), α -tocopheryl acetate (vitamin E), vitamin K3, riboflavin (vitamin B2), cobalamin (vitamin B12), niacin (vitamin B3), calcium D-pantothenate (vitamin B5), choline chloride (vitamin B4), butylated hydroxytoluene (BHT). Calculated to contain: 21.40% Ca; 8.10% total P; 3.40% Na; 0.80% L-lysine hydrochloride; and 4.15% DL-methionine. The premix for the starter phase of broiler chickens is manufactured and distributed by Trouw Nutrition, Mexico, S.A. de C.V.

Table 2 – Ingredient and nutrient compositions of the control diets (%) for the finisher phase (22-42 days of age).

| Ingredients | 0% PFPO | | |
|-------------------------------|----------|-----------|-----------|
| | 0% CaSPO | 50% CaSPO | 50% CaSPO |
| Sorghum grain | 65.6 | 65.6 | 65.6 |
| Soybean meal | 26.4 | 26.4 | 26.4 |
| Vegetable oil (VO) | 3.7 | 1.85 | 1.85 |
| PFPO | 0 | 0 | 1.85 |
| CaSPO | 0 | 1.85 | 1.85 |
| Premix* | 4 | 4 | 4 |
| Pigment | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| Total | 100 | 100 | 100 |
| Nutrient composition | | | |
| Crude protein, % | 18.7 | 18.7 | 18.7 |
| Metabolizable energy, kcal/kg | 3120 | 3120 | 3120 |

CaSPO= calcium soaps of palm oil; PFPO= Prilled fats of palm oil

*Premix: monocalcium phosphate, calcium carbonate, common salt, growth promoter (BDM and 3-nitro), sodium monensin, mineral oil, ethoxyquin, retinol (vitamin A-acetate), cholecalciferol-D3 (vitamin D3), α -tocopheryl acetate (vitamin E), vitamin K3, riboflavin (vitamin B2), cobalamin (vitamin B12), niacin (vitamin B3), calcium D-pantothenate (vitamin B5), choline chloride (vitamin B4), butylated hydroxytoluene (BHT). Pre-mix calculated to contain: 19.80% Ca; 3.7% total P; 3.7% Na; 4.3% L-lysine hydrochloride; and 5.2% DL-methionine. The premix for the finisher phase of broiler chickens is manufactured and distributed by Trouw Nutrition, Mexico, S.A. de C.V.

Body weight and feed intake were measured weekly and the feed conversion ratio (FCR; feed intake, g/weight gain, g) was calculated. At the end of the feeding trial, two chickens per cage were randomly selected to be sacrificed by cervical dislocation according to official Mexican law (NOM-033-SAG/ZOO-2014) for carcass traits determination. Carcass weight without viscera was used to estimate hot carcass yield. The carcass was then dissected for major cuts: breast, thighs and drumsticks, wings, and back.

Statistical analyses

The data obtained were analyzed using a completely randomized design with a factorial arrangement of 2 x 2. The main effects were two PFPO levels (0 and 50%) and two CaSPO levels (0 and 50%), as well as the interaction between these effects. The values of 0 and

50 represent the percentage of substitution of VO for each granulated fat of palm oil (PFPO or CaSPO). The experimental design is shown in the following scheme.

| Prilled fats | Calcium fats | Treatment |
|--------------|--------------|----------------------------------|
| 0% PFPO | 0% CaSPO | T1 = (0% PFPO + 0% CaSPO), n=5 |
| 0% PFPO | 50% CaSPO | T2 = (0% PFPO + 50% CaSPO), n=5 |
| 50% PFPO | 0% CaSPO | T3 = (50% PFPO + 0% CaSPO), n=5 |
| 50% PFPO | 50% CaSPO | T4 = (50% PFPO + 50% CaSPO), n=5 |

For productive performance calculation (weight gain, feed intake, and feed conversion ratio), the replicate was considered to be the average of broiler chickens in each pen; while for carcass evaluation, it was the average of two birds (selected at random) per pen. The carcass yield was determined as carcass weight (g)/live weight (g). Significance was declared at $p \leq 0.05$. Statistical analyses were conducted using the GLM procedure of SAS (2007).

Nájera-Pedraza OG, Meliádo-Bosque MA,
García-Martínez JE, Encina-Domínguez JA,
Salinas-Chavira J



Replacement of Conventional Vegetable Oil with
Granulated Fats of Palm Oil (Prilled Fats and Calcium
Soaps) in Broiler Chicken Diet: Performance and
Carcass Traits

RESULTS

Growth performance

The influence of fat sources on the productive performance of broiler chickens is shown in Figures 1, 2, and 3. In the starter phase (1 to 21 d), the prilled fat of palm oil did not influence chicken feed intake or body weight gain ($p>0.05$), but improved (main effect; $p=0.03$) feed conversion ratio; it was 12.2% better for chickens receiving diets with PFPO than for chickens without PFPO in their diets. In its turn, the inclusion of CaSPO oil did not influence feed intake ($p=0.63$), but it decreased (main effect; $p<0.01$) body weight gain by 9.4% compared to birds fed diets without CaSPO. The inclusion of CaSPO also adversely affected (main effect; $p=0.03$) feed conversion ratio, which was 11.5% better for chickens without CaSPO in their diets.

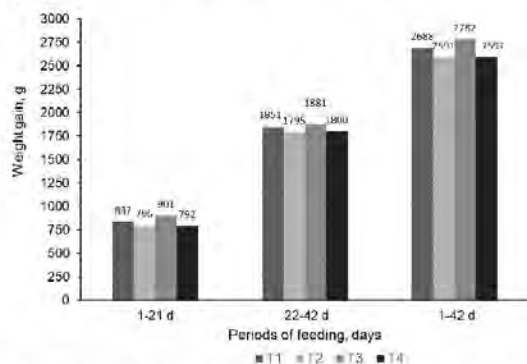


Figure 1 – Weight gain of broiler chickens in the study. T1 = Control (0% CaSPO + 0% CaSPO); T2 = 0% PFPO + 50% CaSPO; T3 = 50% PFPO + 0% CaSPO; T4 = 50% PFPO + 50% CaSPO. CaSPO = calcium soaps of palm oil; PFPO = Prilled fats of palm oil. Probabilities of main effects for PFPO, CaSPO, and for the interaction (PFPO \times CaSPO), were 0.09, <0.01, and 0.06 (SEM = 11.7) respectively for the starter phase. In the same order for the finisher phase were 0.57, 0.04, and 0.68 (SEM = 21.1). For the entire period, the values were 0.22, <0.01, and 0.23 (SEM = 26).

The percentage changes in the weight gain of chickens for the main effect of CaSPO were estimated considering the average weight gain of animals fed diets with 0% CaSPO (T1 and T3) relative to birds fed diets with 50% CaSPO (T2 and T4). These averages for the starter phase were 869 g and 794 g (9.4% of change), 1866 g and 1797.5 g for the finisher phase (3.8% of change), and 2735 g and 2591.5 g for total period (5.5% of change).

In the finisher phase (22 to 42 d), the inclusion of PFPO did not alter feed intake, body weight gain, or feed conversion ratio ($p>0.05$). Similarly, CaSPO did not influence feed intake ($p=0.21$). The body weight gain of chickens decreased ($p=0.04$) by 3.8% with the inclusion of CaSPO. The inclusion of CaSPO oil adversely affected (main effect; $p=0.03$) feed conversion ratio; it was 8.4% better for chickens without CaSPO in their diets.

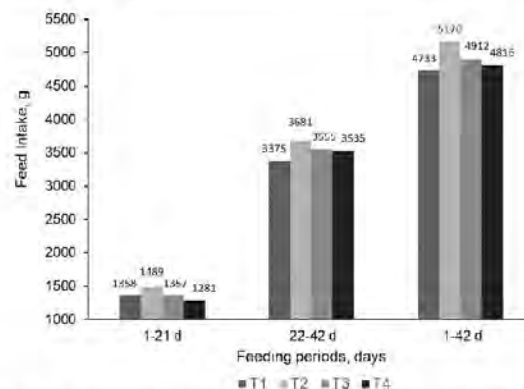


Figure 2 – Feed intake of broiler chickens in the study. T1 = Control (0% CaSPO + 0% CaSPO); T2 = 0% PFPO + 50% CaSPO; T3 = 50% PFPO + 0% CaSPO; T4 = 50% PFPO + 50% CaSPO. CaSPO = calcium soaps of palm oil; PFPO = Prilled fats of palm oil. Probabilities for the starter phase of the main effects for PFPO, CaSPO, and for the interaction (PFPO \times CaSPO), were 0.09, 0.63, and 0.09 (SEM = 40.3), respectively. In the same order, for the finisher phase, these were 0.88, 0.21, and 0.16 (SEM = 78.2). For the entire period, the values were 0.51, 0.21, and 0.06 (SEM = 93).

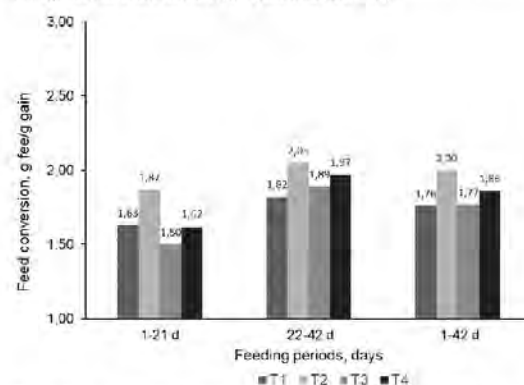


Figure 3 – Feed conversion of broiler chickens in the study. T1 = Control (0% CaSPO + 0% CaSPO); T2 = 0% PFPO + 50% CaSPO; T3 = 50% PFPO + 0% CaSPO; T4 = 50% PFPO + 50% CaSPO. CaSPO = calcium soaps of palm oil; PFPO = Prilled fats of palm oil. Probabilities of the main effects for PFPO, CaSPO, and the PFPO \times CaSPO interaction were 0.03, 0.03 and 0.42 (SEM = 0.05), respectively, for the starter phase. In the same order, for the finisher phase, these were 0.89, 0.03, and 0.26 (SEM = 0.05). For the entire period, the values were 0.26, <0.01, and 0.23 (SEM = 0.04).

The percentage changes of feed conversion of chickens for the main effect of CaSPO were estimated considering the feed conversion of animals fed diets with 0% CaSPO (T1 and T3) relative to birds fed diets with 50% CaSPO (T2 and T4). These averages for the starter phase were 1.57 and 1.75 (11.5% of change); for the finisher phase, 1.86 and 2.01 (8.4% of change), and for the total period, 1.77 and 1.93 (9.4% of change).

The percentage changes of feed conversion of chickens for the main effect of PFPO were estimated considering the feed conversion of animals fed diets with 0% PFPO (T1 and T2) relative to birds fed diets with 50% PFPO (T3 and T4). These averages for the starter phase were 1.75 and 1.56 (12.2% change).

In the total study (1-42 d), the inclusion of PFPO did not influence ($p>0.05$) chicken feed intake, body weight gain, or feed conversion ratio. The inclusion of CaSPO did not influence feed intake ($p=0.21$) as well; however, it decreased (main effect; $p<0.01$) the

Nájera-Pedraza OG, Mellado-Bosque MA,
García-Martínez JE, Encina-Domínguez JA,
Salinas-Chavira J



Replacement of Conventional Vegetable Oil with
Granulated Fats of Palm Oil (Prilled Fats and Calcium
Soaps) in Broiler Chicken Diet: Performance and
Carcass Traits

body weight gain of chickens by 5.5% in comparison to those not receiving CaSPO. Moreover, the inclusion of CaSPO adversely affected (main effect; $p < 0.01$) feed conversion ratio; it was 9.4% better for chickens without CaSPO in their diets.

Carcass characteristics

Treatment effects on the carcass characteristics of broiler chickens are shown in Table 3. There was no influence of the treatment on carcass, breast, drumsticks plus thighs, or wings yields ($p > 0.05$). PFPO did not influence carcass weight; however, broiler chickens fed dietary CaSPO had lower ($p = 0.02$) carcass weight. The only PFPO \times CaSPO interaction ($p = 0.04$) was for back yield; in diets without PFPO, the supplementation with CaSPO decreased back yield; the opposite occurred in diets containing PFPO with CaSPO.

Table 3 – Carcass characteristics of broiler chicken fed diets formulated with different fat sources.

| Carcass evaluation | 0% PFPO | | 50% PFPO | | SEM | p-value main effect | | |
|-------------------------------|----------|-----------|----------|-----------|------|---------------------|-------|---------------------|
| | 0% CaSPO | 50% CaSPO | 0% CaSPO | 50% CaSPO | | PFPO | CaSPO | PFPO \times CaSPO |
| Hot carcass weight, g | 2120 | 2037 | 2187 | 1989 | 0.04 | 0.87 | 0.02 | 0.32 |
| Carcass yield, % ¹ | 78.5 | 77.4 | 77.9 | 77.4 | 0.50 | 0.67 | 0.25 | 0.69 |
| Breast yield, % | 40.7 | 39.4 | 39.8 | 37.6 | 0.63 | 0.15 | 0.06 | 0.58 |
| Leg-thigh yield, % | 27.4 | 29.4 | 29.9 | 29.4 | 0.59 | 0.17 | 0.37 | 0.14 |
| Wing yield, % | 10.8 | 10.7 | 10.2 | 11.4 | 0.34 | 0.92 | 0.27 | 0.17 |
| Back yield, % | 20.6 | 19.7 | 18.9 | 20.7 | 0.39 | 0.54 | 0.49 | 0.04 |

CaSPO = calcium soaps of palm oil; PFPO = Prilled fats of palm oil.

¹Percentage of carcass yield = (carcass weight, g / live weight, g) \times 100.

concentration in the final CaSPO product in 9% to 14%, which decreases caloric density and adversely affects chicken growth. CaSPO ether extract in the present study was 81.5%, while VO contains 99% ether extract and, therefore, has a greater caloric density. The lack of beneficial effects of calcium salts of fats on the productive response of broiler chickens was also reported by Mosavat (2011), using calcium soaps of soybean oil, and by Çalik *et al.* (2019), using calcium soaps of tallow, while in the present study calcium soaps of palm oil were used.

Other factors that may lower CaSPO energy concentration compared with VO are the presence of free fatty acids in CaSPO, produced during palm oil saponification, and the high percentage of saturated fatty acids in palm oil (mainly palmitic acid). In broiler chickens, intestinal absorption of triglycerides is very efficient compared with free fatty acids (Sklan, 1979; Baião & Lara, 2005), due to greater micelle formation in triglycerides than in free fatty acids (Garrett & Young, 1975), and the energy decrease with increasing free fatty acids and saturated fatty acids in broiler chickens

DISCUSSION

Growth performance

The inclusion of CaSPO in diets decreased body weight gain and adversely influenced the feed conversion ratio of broilers during the whole study. These results disagree with Villanueva-Lopez *et al.* (2020), who reported that the replacement of VO with CaSPO did not alter the productive behavior of broiler chickens. This difference is probably because Villanueva-Lopez *et al.* (2020) used VO in addition to dietary recycled fats, while the present study did not use the latter.

A possible explanation of the results in the present study is that CaSPO may have a lower energy concentration. Palm oil reacts with calcium salts during the saponification process, increasing ash

(Wiseman & Salvador, 1991). These results agree with Wu *et al.* (2011), who reported an inverse relationship between the level of free fatty acids in yellow grease and broiler chicken productive performance.

Regarding the saturation of fatty acids, palm oil has negatively affected the productive performance of broiler chickens compared with lipids with lower saturated fatty acids concentrations like sunflower oil (Khatun *et al.*, 2018) or rapeseed oil (Sudharsan *et al.*, 2021). However, reductions in productive performance in broiler chickens have not always been reported when diets contain saturated or free fatty acids. Waldroup *et al.* (1995) reported that the free fatty acids level of blended fats did not adversely influence chicken productive performance. Poorghasemi *et al.* (2013) observed improved productive performance and carcass yields in broiler chickens fed diets with saturated fats (tallow) combined with unsaturated fats (canola or sunflower oil). In the current study, VO was partially substituted by CaSPO, and this probably had a beneficial effect on the intestinal absorption of free fatty acids from CaSPO.

Nájera-Pedraza OG, Mellado-Bosque MA,
García-Martínez JE, Encina-Domínguez JA,
Salinas-Chavira J



Replacement of Conventional Vegetable Oil with Granulated Fats of Palm Oil (Prilled Fats and Calcium Soaps) in Broiler Chicken Diet: Performance and Carcass Traits

Nowadays, the conventional VO of oilseeds is expensive, with constant price increments. Palm oil in the form of calcium soaps could replace the traditional VO, particularly in countries where it is cheaper than conventional VO. However, small reductions in the productive variables of broiler chickens with dietary CaSPO could be expected. In the present study, the production costs of broiler chickens fed different lipid sources were not determined. Still, these economical determinations are necessary when choosing the diet ingredients for the producers of chicken meat.

Dietary PFPO did not influence the productive variables of broiler chickens in the present study. These findings disagree with Jaapar *et al.* (2020). They reported improvements in body weight gain, feed conversion ratio, and nutrient digestibility when 1% of palm oil was replaced with PFPO in diets for broiler chickens. It is difficult to explain these differences because of the limited research on this topic. VO and PFPO contain 99% ether extract, so the main difference between VO and PFPO is their fatty acid content. The vegetable oil from oilseeds contains mainly unsaturated fatty acids as glycerides, while PFPO contain about 85% of palmitic acid (C16), mainly as a free fatty acid. Moreover, VO of oilseeds is liquid at room temperature, while PFPO are solid small spheres (1 to 2 mm in diameter). These differences were not reflected in the productive variables of broiler chickens for the finishing phase or the total study; however, dietary PFPO offered to chickens enhanced the feed conversion ratio in the starter phase. We did not determine fatty acid digestion and absorption from the diets. Therefore, research is warranted on digestion, absorption, and deposition of fatty acids in body tissues of broiler chickens fed diets containing the different lipid sources used in the current study.

Carcass characteristics

The carcass characteristics of chickens in the current study are consistent with the productive variables of broiler chickens. Carcass characteristics were generally not influenced by the substitution of VO for PFPO. These two lipid sources could have similar energy concentrations, capable of promoting similar tissue growth in chickens. The information on this topic is limited, and further research is warranted on carcass characteristics and meat chemical composition, particularly regarding the fatty acids profile deposited in the carcass of broiler chickens fed VO or PFPO.

The inclusion of CaSPO in diets reduced broiler chickens' body weight gain and carcass weight. In

contrast, Villanueva-Lopez *et al.* (2020) reported beneficial effects of dietary CaSPO on the breast yield of broiler chickens. As previously mentioned, recycled fats were used, in the study of Villanueva-Lopez *et al.* (2020), whereas this type of fats was not used in the present study. Instead, PFPO was used, which might have higher energy density than recycled fats and reflect in carcass weight reduction of chickens fed CaSPO. In other studies, carcass characteristics or abdominal fat were not affected by dietary calcium soaps of oilseeds or tallow (Malá *et al.*, 2004; Tabeidian & Sadeghi, 2006; Mosavat *et al.*, 2011; Çalik *et al.*, 2019).

CONCLUSIONS

It was concluded that the inclusion of CaSPO in diets decreased the productive behavior of broiler chickens. In the other case, PFPO could partially replace conventional VO in broiler diets without influencing their productive performance. Carcass evaluations revealed that dietary CaSPO reduced carcass weight compared to VO or PFPO. Carcass characteristics were not influenced by dietary PFPO. Further research on digestion and lipid deposition in the tissue of broiler chickens fed diets containing PFPO, CaSPO, and VO is warranted.

ACKNOWLEDGEMENTS

We acknowledge the Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia of the Universidad Autónoma de Tamaulipas for the facilities and technical staff that supported the present study.

DECLARATION OF INTEREST STATEMENT

The authors reported no potential conflict of interest.

REFERENCES

- Baião NC, Lara LC. Oil and fat in broiler nutrition. *Brazilian Journal of Poultry Science* 2005;7(3):129-41.
- Çalik A, Yalcin S, Kucukersan S, Sacaklı P, Yildiz G, Ramay MS, *et al.* Effects of calcium soaps of animal fats on performance, abdominal fat fatty acid composition, bone biomechanical properties, and tibia mineral concentration of broilers. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2019;25(1):61-70.
- Dewi GAMK, Astawa PA, Sumadi IK. Effect of inclusion calcium-palm fatty acid (Ca-PFA) on growth performance and profile of body fatty acid of broiler. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture* 2011;36(1):55-60.
- Garrett RL, Young RJ. Effect of micelle formation on the absorption of neutral and fatty acids by the chicken. *Journal of Nutrition* 1975;105(7):827-38.

Nájera-Pedraza OG, Mellado-Bosque MA, García-Martínez JE, Encina-Domínguez JA, Salinas-Chavira J



Replacement of Conventional Vegetable Oil with Granulated Fats of Palm Oil (Prilled Fats and Calcium Soaps) in Broiler Chicken Diet: Performance and Carcass Traits

- INEGI - Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2017. Anuario Estadístico del Estado de Tamaulipas [cited 2022 Jan 16]. Available from: http://www.datatur.sectur.gob.mx/txef_docs/lams_anuario_pdf.pdf.
- Infante-Rodríguez F, Salinas-Chavira J, Montaña-Gómez MF, Manríquez-Núñez OM, González-Vizcarra VM, Guevara-Florentino OF, et al. Effect of diets with different energy concentrations on growth performance, carcass characteristics and meat chemical composition of broiler chickens in dry tropics. *Springer Plus* 2016;5(1):1937.
- Itzá-Ortiz MF, López-Coello C, Ávila-González E, Gómez-Rosales S, Arceménocal J, Velásquez-Madrado PA. Effect of energy source and level on the length of intestinal villi, immune response and the production performance in broilers. *Veterinaria México* 2008;39(4):357-76.
- Jaapar MS, Alshelmani MI, Humam AM, Loh TC, Foo HL, Akit H. Effect of feeding prilled palm fat with lyso-lecithin on broiler growth performance, nutrient digestibility, lipid profile, carcass, and meat quality. *Poultry Science Journal* 2020;8(1):43-50.
- Khatun J, Loh TC, Akit H, Foo HL, Mohamad R. Influence of different sources of oil on performance, meat quality, gut morphology, ileal digestibility and serum lipid profile in broilers. *Journal of Applied Animal Research* 2018;46:(1):479-85.
- Malá S, Slezáčková I, Strakova E, Suchý P, Večerek V. Plant-based diets containing ca-salts of fatty acids and their influence on performance, carcass characteristics, and health status of broiler chickens. *Acta Veterinaria Brno* 2004;73(3):321-8.
- Mosavat N. Use of soybean fatty acids and soybean calcium salt fatty acids in broiler chickens diets. *Advances in Environmental Biology* 2011;5(10):3068-71.
- NRC - National Research Council. *Nutrient requirements of poultry*. 9th ed. Washington: National Academy Press; 1994.
- NOM-033-SAG/ZOO-2014- Norma Oficial Mexicana. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres [cited 2020 Jun 19]. Miércoles; 2015 Available from: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203456/NOM-033-SAGZOO-2014_260815.pdf.
- Parveez GKA, Tarmizi AHA, Sundram S, Loh SK, Ong-Abdullah M, Palam KDP, et al. Oil palm economic performance in Malaysia and R&D progress in 2020. *Journal of Oil Palm Research* 2021;33(2):181-214.
- Poorghasemi M, Seidavi A, Qotbi AAA, Laudadio V, Tufarelli V. Influence of dietary fat source on growth performance responses and carcass traits of broiler chicks. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 2013;26(5):705.
- Ren CX, Wang YJ, Lin XF, Yang F, Chen J, Song HQ, et al. Guan. Palm oil encapsulated by homogenizing and spray drying enhances nutrient digestibility and attenuates diarrhoea of piglets. *Animal Feed Science and Technology* 2020;266(6):114503.
- Salinas J, Ramirez RG, Domínguez MM, Reyes-Bernal N, Trinidad-Larraga N, Montano MF. Effect of calcium soaps of tallow on growth performance and carcass characteristics of Pelibuey lambs. *Small Ruminant Research* 2006;66(1-3):135-9.
- SAS. *User's guide: statistics*. Version 9. 6th ed. Cary: SAS Institute; 2007.
- Sklan D. Digestion and absorption of lipids in chicks fed triglycerides or free fatty acids: Synthesis of monoglycerides in the intestine. *Poultry Science* 1979;58(4):885-9.
- Sudharsan C, Murugan SS, Chacko B, Juliet S, Nair SN, Bency A, et al. Influence of dietary substitution of palm oil by rapeseed oil at different levels on growth performance and economics of broilers. *Indian Journal of Animal Research* 2021;55(4):445-50.
- Tabedian SA, Sadeghi GH. Use of plant based calcium salt of fatty acids in broiler diets. *International Journal of Poultry Science* 2006;5(1):96-8.
- Valencia ME, Watkins SE, Waldroup AL, Waldroup PW, Fletcher DL. Utilization of crude and refined palm and palm kernel oils in broiler diets. *Poultry Science* 1993;72(12):2200-15.
- Villanueva-Lopez DA, Infante-Rodríguez F, Nájera-Pedraza OG, Barrios-García HB, Salinas-Chavira J. Effect of dietary frying fat, vegetable oil and calcium soaps of palm oil on the productive behavior and carcass yield of broiler chickens. *Brazilian Journal of Poultry Science* 2020;22(4):1-8.
- Waldroup PW, Watkins SE, Saleh EA. Comparison of two blended animal-vegetable fats having low or high free fatty acid content. *Journal of Applied Poultry Research* 1995;4(1):41-8.
- Wiseman J, Salvador F. The influence of free fatty acid content and degree of saturation on the apparent metabolizable energy value of fats fed to broilers. *Poultry Science* 1991;70(3):573-82.
- Wu H, Gong LM, Guo L, Zhang L, Li JT. Effects of the free fatty acid content in yellow grease on performance, carcass characteristics, and serum lipids in broilers. *Poultry Science* 2011;90(9):1992-8.

ANEXO 2

Emir. J. Food Agric

Physicochemical traits and mineral concentrations in meat of broiler chicken fed diets with granulated lipids of palm oil (prilled fats and calcium soaps)

| | |
|--------------------------|---|
| Journal Name : | Emirates Journal of Food and Agriculture |
| Manuscript ID : | 137-1684174745 |
| Manuscript Type : | Research Article |
| Submission Date : | 15-May-2023 |
| Authors : | Omar G. Nájera-Pedraza Miguel Mellado-Bosque José E. García-Martínez Juan A. Encina-Domínguez Jaime Salinas-Chavira |

For your questions please send message to ejfa@uaeu.ac.ae

1 **Physicochemical traits and mineral concentrations in meat of broiler chicken fed**
 2 **diets with granulated lipids of palm oil (prilled fats and calcium soaps)**

3

4 **Omar G. Nájera-Pedraza¹, Miguel Mellado-Bosque¹, José E. García-Martínez¹,**
 5 **Juan A. Encina-Domínguez¹, and Jaime Salinas-Chavira^{2,*}**

6

7 ¹Department of Animal Nutrition, Saltillo, Universidad Autónoma Agraria Antonio
 8 Narro, Saltillo, Coahuila, México

9 ²Department of Animal Nutrition, College of Veterinary Medicine and Animal Science,
 10 Autonomous University of Tamaulipas, Cd. Victoria, Tamaulipas, Mexico

11

12 ***Correspondence:** jsalinasc@hotmail.com

13

14 ORCIDs:

15 Omar G. Nájera-Pedraza: <https://orcid.org/0000-0003-0394-6021>

16 Miguel Mellado-Bosque: <https://orcid.org/0000-0002-3341-0060>

17 José E. García-Martínez: <https://orcid.org/0000-0002-0612-704>

18 Juan A. Encina-Domínguez: <http://orcid.org/0000-0002-2758-1197>

19 Jaime Salinas-Chavira: <https://orcid.org/0000-0002-3149-3413>

20

21

22

23

24

1 **Physicochemical traits and mineral concentrations in meat of broiler chicken fed**
2 **diets with granulated lipids of palm oil (prilled fats and calcium soaps)**

3

4 **ABSTRACT**

5 This study aimed to evaluate the physicochemical characteristics and mineral
6 concentrations in meat of broiler chickens fed diets containing prilled fats of palm oil
7 (PFPO) or calcium soaps of palm oil (CaSPO) substituting vegetable oil (VO). Meat
8 samples of breast and thigh were obtained from 40 carcasses randomly selected from 200
9 male broiler chickens previously fed for 42 d in a completely randomized design. Ten
10 samples per treatment were used. Diets included VO (T1), 50% VO and 50% CaSPO
11 (T2), 50% VO and 50% PFPO (T3), 50% CaSPO and 50% PFPO (T4). In breast meat,
12 ether extract was greatest in T1 (1.46 %) and lowest in T4 (0.98%; $P < 0.05$). In breast
13 meat, water, and crude protein content, as well as pH, lightness (L^*), redness (a^*), and
14 yellowness (b^*) were not influenced by treatment ($P > 0.05$). In thigh meat, ash
15 concentration was highest for T1 and lowest for T2 ($P < 0.05$). Also, ether extract was
16 greatest for T1 (2.31%) and lowest for T4 (1.54%; $P < 0.05$). For breast meat, crude
17 protein concentration, L^* , a^* , and b^* were not influenced by treatment ($P > 0.05$). In thigh
18 meat only b^* was lower ($P < 0.05$) in chickens of VO only (T1) than those receiving
19 PFPO and/or CaSPO. It was concluded that the addition of PFPO either mixed with VO
20 or CaSPO reduced ether extract of breast and thigh meat in broiler chickens. The
21 granulated fats of palm oil had small influence on lightness, redness, or yellowness of
22 breast and thigh meat from broiler chickens.

23 **Key words:** Broiler chicken, meat, palm oil, prilled fats, saponified fats

24

1

2 INTRODUCTION

3 The increase in diets' energy concentration with lipids in commercial diets has improved
4 the productive performance of broiler chickens (Infante-Rodríguez et al., 2016). In
5 poultry diets, conventional lipids are animal fats, vegetable oils, and a blend of both
6 (Baião and Lara, 2005). Lipids are added to the broiler diets to improve broiler productive
7 performance including meat quality (Abdulla et al., 2019; Jaapar et al., 2020).
8 Nutritionists are conducting research to improve lipids use in diets for broiler chickens to
9 enhance economic profits and meat quality.

10 The value of metabolizable energy of lipids in poultry diets is related to fatty acids
11 saturation, chain length, free fatty acids, impurities, and levels of fat and calcium in the
12 diet (Ravindran et al., 2016). In broiler chickens, there is a greater lipids digestibility for
13 soybean oil (mostly unsaturated fats) than tallow (saturated fatty acids) (Tancharoenrat et
14 al., 2014).

15 In some countries, palm oil is cheaper than oils from oilseeds or animal fats (Parveez et
16 al., 2022); however, palm oil has certain limitations. Broiler chickens fed with palm oil
17 diets had lower fat digestibility and higher saturated fatty acids concentration in breast
18 meat than chickens fed with rapeseed oil diets (Khatun et al., 2018; Skřivan et al., 2018).
19 also found lower fat digestibility in chickens fed with palm oil diets than in diets
20 containing sunflower oil. In addition, Khatun et al. (2018) reported similar digestibility
21 and carcass characteristics in broiler chickens fed diets with blends of palm oil with
22 sunflower oil; they suggested this alternative for palm oil inclusion in broiler chicken
23 diets. Similarly, other study reported improved productive performance or economic

1 profit with 50% substitution of palm oil for omega-3-rich rapeseed oil in diets for broiler
2 chickens (Sudharsan et al., 2020).

3 Granulated fats produced by saponification are used in ruminant feeding (Salinas et al.,
4 2006). Saponification of palm oil produces calcium salts of palm oil (CaSPO), a granular
5 fat that in some places is cheaper than conventional oils from oilseeds used in poultry
6 feeding. Substitution of CaSPO by vegetable oil in poultry diets did not cause a significant
7 reduction in productive performance (Villanueva-Lopez et al., 2020) or carcass weight in
8 broiler chickens (Nájera-Pedraza et al., 2023).

9 Prilled fats of palm oil (PFPO) are small spheres of encapsulated fat (tiny pearls of 1 to 2
10 mm in diameter) containing 99% fat with 85 to 90% palmitic acid (C16:0). The PFPO are
11 mainly incorporated in ruminant diets. There are few research reports on the use of PFPO
12 in poultry feeding. Compared to palm oil, PFPO has increased apparent ether extract
13 digestibility and reduced diarrhoea in weaned pigs (Ren et al. 2020). Productive
14 performance and nutrient digestibility have been enhanced with the inclusion of 1% of
15 PFPO in broiler chickens (Jaapar et al., 2020). The productive performance or carcass
16 evaluations were not affected by vegetable oil substitutions by PFPO in broiler chickens'
17 diets (Nájera-Pedraza et al., 2023).

18 To the best of our knowledge, there is no previous report on the meat's physicochemical
19 characteristics using CaSPO and/or PFPO in broiler chickens' diets as a partial
20 substitution of vegetal oil (VO). We hypothesized that PFPO, CaSPO, and VO have
21 different effects on physicochemical characteristics in meat of broiler chickens. This
22 study aimed to evaluate the physicochemical characteristics of meat in broiler chickens
23 fed diets containing CaSPO and PFPO as partial replacements for the common VO.

24

1 MATERIAL AND METHODS

2 Study Area

3 The study was carried out at the poultry farm of the College of Veterinary Medicine and
4 Animal Science of the Autonomous University of Tamaulipas, Ciudad Victoria, Mexico
5 (a subtropical area in northeastern Mexico). The site is located at 23°44'06"N and
6 97°09'50"W, at an altitude of 323 m. The mean annual rainfall is 926 mm, and the yearly
7 average temperature is 24 °C (INEGI, 2017). These climatic characteristics are typical
8 for the dry subtropics (ACw). The average room temperature throughout the entire
9 experiment was 20.2 ± 2.0 °C.

10 Animals and diets

11 The Bioethics Committee of the College of Veterinary Medicine and Animal Science of
12 the Autonomous University of Tamaulipas approved all animal care and management
13 procedures (reference 001-20-CI). Two hundred, 1-day-old male Ross 308 broiler
14 chickens weighing 41.9 ± 1.07 g (mean \pm SD) were bought from a local hatchery. Each
15 treatment (diet) included 50 randomly assigned birds with five replicates of ten animals,
16 according to a completely randomized design. During the experiment, birds were housed
17 in 20-floor pens with ground grass straw as bedding material. Twenty-four hours of light
18 were provided daily during the trial. Each pen had an automatic drinker and a manually
19 filled feeder. Space allocation was ten birds per square meter. Water and feed were
20 offered ad libitum. Birds were vaccinated on day 7 of the trial against fowlpox (wing
21 puncture) and Newcastle (ocular) using the La Sota strain.

22 Chickens were raised following standard commercial practices. Two feeding phases were
23 used: 1–21 (starter) and 22–42 days of age (finisher). There were four treatments (T) for
24 starter and finisher diets. The only difference between experimental diet composition was

1 the lipid source: in T1 it was 100% VO, T2 included 50% VO + 50% CaSPO, T3
2 contained 50% VO + 50% PFPO, and T4 had 50% CaSPO + 50% PFPO. Diets were
3 prepared according to National Research Council (1994) for poultry recommendations
4 (Tables 1 and 2).

5 At the end of the feeding trial, two chickens per cage (ten birds per treatment) were
6 randomly selected to be sacrificed by cervical dislocation according to official Mexican
7 law (NOM, 2014) to obtain carcasses without viscera. The breast and thighs were
8 separated and frozen (-20 °C) for further evaluation. For analysis, meat samples were
9 obtained from the muscles: pectoralis major in breast, and the iliotibialis in the thigh.

10 **Laboratory analysis**

11 The laboratory analysis of the samples was carried out in the laboratory of the Department
12 of Animal Nutrition, of the Antonio Narro Autonomous Agrarian University, Saltillo,
13 Mexico.

14 Proximate composition was determined according to the AOAC (2000) procedures and
15 included moisture, crude protein, ether extract, and ash. All results were expressed on wet
16 matter basis. The moisture was determined by drying 1 g of meat sample in an oven at
17 100 to 105 °C for 24 h. The Kjeldahl was used for crude protein determination ($N \times 6.25$).

18 The Soxhlet procedure was used for crude fat extraction with ether petroleum, considering
19 previous acidification (50 mL hydrochloric acid 4 mol/L and digested for 40 minutes).

20 The ash was determined by igniting the meat sample in a muffle furnace (Thermolyne
21 Thermo Scientific, model 1500FD 1535M) at 600°C for 2 h. Results were expressed as a
22 percentage on a wet matter basis.

23 The pH was determined in meat samples thawed by 24 h at 4 °C. Samples (1 g) were
24 macerated in a mortar, distilled water was added, and filtrated through four layers of

1 cheesecloth, rinsing the mortar with distilled water; the total water was 10 mL. The pH
2 of the filtrate was recorded with a pH meter (Mod HI98127, Hanna instruments,
3 Rumania), previously calibrated in buffer solutions at ambient conditions.

4 Meat samples thawed for 24 h at 4 °C were used for color determination using a
5 spectrophotometer (KONICA MINOLTA model CROMA METER CR-400, Japan)
6 considering the scale CIELAB. Four replicated measurements were recorded to have a
7 representative value of color for meat samples. The color values were for Hunter L*
8 (lightness), a* (redness), and b* (yellowness).

9 Minerals determination of breast and thigh samples were made according to the AOAC,
10 (2000) procedures. Minerals, except phosphorus, were determined in an atomic
11 absorption spectroscopy (VARIAN model AA-1275 series). Phosphorus was determined
12 according to the procedure of Fick et al. (1979) using a spectrophotometer UNICO model
13 UV2150.

14 **Statistical analyses**

15 Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) for simple classification of
16 completely randomized design (PROC GLM of SAS; SAS Institute Inc, Cary, NC).
17 Before the analysis of variance, the normality of the data was verified by the
18 UNIVARIATE procedure of SAS. When necessary, the Tuckey test was used to assess
19 differences between means. Effects in granulated fats data were separated by using
20 orthogonal contrasts comparisons as follows: T1, T2 versus T3, T4 (no PFPO versus
21 PFPO); T1, T3 versus T2, T4 (no CaSPO versus CaSPO). Significance was declared at P
22 ≤ 0.05 .

23

24 **RESULTS**

1 **Physicochemical traits of breast meat**

2 The influence of fat sources in diets of broiler chickens on physicochemical
3 characteristics of breast meat is shown in Table 3. Water, crude protein, and ash
4 concentration in breast meat of broiler chickens were not affected by treatments ($P >$
5 0.05). The breast meat of broiler chickens fed PFPO had lower ($P = 0.02$) ether extract
6 concentration than breast meat of broiler chickens with no PFPO in diets. Treatments did
7 not show difference among them for the variables pH, L^* , a^* , and b^* ($P > 0.05$).

8 **Physicochemical traits of thigh meat**

9 The influence of fat presentation in diets of broiler chickens on physicochemical
10 characteristics of thigh meat is shown in Table 4. Crude protein concentration of thigh
11 meat was not affected by treatment ($P > 0.05$). Water in thigh meat varied from 76.94%
12 to 78.31%, where the highest value was for chickens in control (T1) and the lowest ($p <$
13 0.05) for birds in T2 (50% VO + 50% CaSPO). The contrast effect showed water
14 reduction ($p < 0.01$) in thigh meat of broiler chickens fed with CaSPO diets (T2 and T4)
15 compared to treatments with different lipid sources (T1 and T3).

16 Ash in thigh meat varied from 1.00% to 1.09%. The highest value was for chickens in T1,
17 and the lowest value ($P < 0.05$) was for birds in T2. The contrast effect showed ash
18 reduction ($P < 0.01$) in thigh meat of broiler chickens fed diets with CaSPO (T2 and T4)
19 compared to treatments with different lipid sources (T1 and T3).

20 The pH in thigh meat varied from 5.86 to 6.16. The highest value was for meat of chickens
21 fed the control diet (T1), whereas birds with the lowest ($P < 0.05$) pH in thigh were those
22 offered the T2 diet. The contrast effect revealed a pH decrease ($P < 0.01$) in thigh meat
23 of broiler chickens fed diets with CaSPO (T2 and T4) compared to treatments with
24 different lipid source (T1 and T3).

1 The contrast effect revealed that the ether extract concentration of thigh meat was lower
2 ($P < 0.01$) in broiler chickens fed diets with PFPO (T3 and T4) than in diets with no PFPO
3 (T1 and T2). The variables L^* and a^* were not influenced by treatment ($P > 0.05$).
4 Chickens fed with the control treatment (VO; T1) showed lower ($P < 0.01$) value on the
5 b^* variable in thigh meat than in birds fed diets containing different lipid sources (T2, T3,
6 and T4).

7 The variable b^* was lower ($P < 0.01$) in thigh meat of broiler chickens fed the control
8 with VO (T1) than in birds fed diets containing different lipid sources (T2, T3, and T4).

9

10 **Mineral concentrations in breast and thigh**

11 The influence of diets on mineral concentrations in breast meat of broilers chickens is
12 shown in Table 5. The potassium, iron, and zinc concentration in breast meat of broiler
13 chickens were not affected by treatment ($P > 0.05$). Copper was highest in T2 and lowest
14 ($P < 0.05$) in T4. The difference between minimum (T3) and maximum (T4) magnesium
15 in breast meat of broiler chickens was statistically significant ($P < 0.05$). The contrast
16 effect revealed that the magnesium concentration in breast meat was lower ($P < 0.01$) in
17 broiler chickens fed diets with no CaSPO (T1 and T3), than in diets with CaSPO (T2 and
18 T4).

19 Regarding breast calcium, concentration, the higher values were for T2 and the lowest (P
20 < 0.05) for T4. The contrast effect revealed lower ($p < 0.01$) calcium concentration in
21 breast meat of broiler chickens fed diets PFPO (T3 and T4), than in diets with no PFPO
22 (T1 and T2).

23 The influence of fat sources in diets of broiler chickens on mineral concentrations of thigh
24 meat is shown in Table 6. Potassium, iron, zinc, magnesium, and phosphorus

1 concentrations in thigh meat of broiler chickens did not differ ($P > 0.05$) among
2 treatments. Copper was highest in T3 and lowest ($P < 0.05$) in T4. The diets with PFPO
3 markedly increased Cu contents in thighs but reduced calcium concentration in thigh meat
4 of broiler chickens.

5

6 **DISCUSSION**

7 **Physicochemical traits of breast meat**

8 In the current study the lower ether extract concentration in breast meat of broiler
9 chickens fed PFPO in diets (T3 and T4) compared to chickens fed diets with VO or
10 CaSPO (T1 and T2) was not caused by a higher feed intake of chicken offered the VO
11 and CaSPO diets (data not shown) or higher daily weight gain (data not shown). Ether
12 extract in the experimental diets was similar, therefore, it is not clear what caused the
13 higher crude fat content in the breast muscle of T1 and T2 chickens. Other researchers
14 have documented a higher ether extract content in chicken meat as ether extract in diets
15 increases (Bogosavljević-Bošković et al., 2010; Legawa et al., 2018).

16 Gálvez et al. (2020) reported ether extract levels in breast meat of broiler chickens close
17 to those in the current study; however higher ether extract levels were reported by various
18 authors (Souza et al., 2011; Milicevic et al., 2015; De Oliveira et al. 2016; Abdulla et al.,
19 2017). There are no previous reports about the influence of PFPO in diets on ether extract
20 concentrations in breast meat of broiler chickens.

21 Some factors may influence broiler's meat lipid concentration, one of them is energy
22 density of diets. The increase in energy level of diets has reduced lipid concentration in
23 pectoral muscle of broiler chickens (Marcu et al., 2012; Marcu et al., 2013; Infante-
24 Rodríguez, et al., 2016). In the current study, the fat source was the only source of

1 variation in diets, and factors like chemical form of fatty acids in the different fat sources
2 could be related to the lower lipid level in breasts of T3 and T4 chickens. More studies
3 on digestion and metabolism on this theme are warranted to elucidate this effect.
4 It has been found an increase in the pigmentation of breast and leg with high levels of fat
5 in diets for chickens (Tang et al., 2007). In the current study, the similar ether extract of
6 diets could explain the lack of differences in pigmentation of breast and thigh of broiler
7 chickens. The pigmentation of the skin is determined by the quantity of pigments in the
8 diet, metabolism, deposition, and intensity of the carotenoids (Liu et al., 2008), which
9 were limited in the palm oil used in the present study.

10 The color value of lightness (L^*) varied from 49.1 to 50.6. These values are within the
11 range of breast meat of broiler chickens. Qiao et al. (2001) reported that lightness (L^*)
12 values in breast meat considered normal range from 48 to 53; values <48 are darker and
13 >53 are lighter.

14 In the present study, the redness (a^*) of breast meat varied from 2.47 to 3.43. Although,
15 Qiao et al. (2001) in breast meat considered 4 as normal redness (a^*) value; however,
16 others have reported redness (a^*) values approach to our values (Ozturk et al., 2010;
17 Cheng et al., 2017). Redness is associated with myoglobin concentration in meat and
18 reported values with wide variations including negative values (-1.31) (Gálvez et al.,
19 2020) to values of 6.89 (Abdulla et al., 2017).

20 The yellowness (b^*) in breast meat of the present study, varied from 7.48 to 10.60.
21 According to Qiao et al. (2001) the yellowness (b^*) value considered normal in breast
22 meat was 5.56, although Qiao et al. (2002) considered 9.68 as a normal value, which is
23 close to values obtained in the present study. Data from Gálvez et al. (2020) showed a

1 variation from 7.90 to 20.8 for yellowness values, depending on production system of
2 broiler chickens.

3 In the current study water concentration of breast meat varied from 75.4% to 76.7%, the
4 crude protein from 23.59% to 25.26%, and the ash from 1.12% to 1.15%. These results
5 agree with various studies in broiler chickens under different feeding and management
6 conditions where breast meat has had small changes in moisture, crude protein and ash
7 (Ozturk et al., 2010; Milicevic et al., 2015; De Oliveira et al. 2016; Abdulla et al., 2017).
8 The pH of breast meat in the present study varied from 5.74 to 5.82. These values are
9 considered normal for breast meat of broiler chickens given various diets (Souza et al.,
10 2011; Abdulla et al., 2017; Gálvez et al., 2020). Glycogen metabolism post-mortem
11 causes pH reduction, and it is lower at 24 h than 15 min after slaughter (Abdulla et al.,
12 2017).

13

14 **Physicochemical traits of thigh meat**

15 In the current study, ether extract in thigh meat varied from 1.56% to 2.31%. The highest
16 level of ether extract was for the thigh meat of chickens in T1 (VO), and the lowest value
17 was for chickens in T4. Prilled fat contains abundant saturated fatty acid, and palmitic
18 acid is the major component, while CaSPO has predominantly palmitic acid and
19 substantial monounsaturated 18-carbon fatty acids (Grummer, 1988). Thus, diets with
20 more abundant unsaturated fatty acids promoted higher fat depositions in thighs. This
21 effect could be related to the fact that relatively saturated fat such as PFPO slows
22 gastrointestinal transit time (Grimesd et al., 1996). Also is reported that ileal digestibility
23 of ether extract has been improved in birds fed diets containing soy oil as compared with

1 those fed palm fat powder in chicken diets (Allahyari-Bake and Jahanian 2017); thus, the
2 addition of PFPO could be hampered the deposition of fat deposition in thighs.

3 In the current study, water concentration in thigh meat varied from 78.31% to 76.94%,
4 corresponding to diets with VO only and diets with VO + CaSPO; these values approach
5 values from 76.14% to 77.23% observed by Souza et al. (2011), and the values are lower
6 than those reported by Ozturk et al. (2012).

7 In the current study, crude protein in thigh meat varied from 22.00% to 22.63% with no
8 difference among treatments; these values are in line with the values from 21.3% to 22.6%
9 observed by De Oliveira et al. (2016), but values are lower than those reported by Souza
10 et al. (2011).

11 In the present study, ash in thigh meat varied from 1.00% to 1.09%. The highest value
12 was for chickens in T1 and the lowest for birds in T2. There are no previous reports on
13 the influence of granulated fats of palm oil on ash in broiler chicken meat. Probably
14 CaSPO could reduce mineral deposition in broiler chickens' tissues. Calik et al. (2019)
15 found lower ash levels in bone of broiler chickens fed diets with calcium soaps of tallow
16 than birds fed diets with vegetable oil. In addition, lower ash levels in bone of broiler
17 chickens have been observed in diets supplemented with palmitic acid than those
18 supplemented with oleic acid (Atteh and Leeson, 1983).

19 In the current study, pH in thigh meat varied from 5.86 to 6.16. The highest value was for
20 meat of chickens fed the control diet (T1), whereas birds with the lowest pH in thigh were
21 those offered the T2 diet. Souza et al. (2011) found pH values from 5.96 to 6.14 in thigh
22 meat of broiler chickens of different strains; values very close to those found in the current
23 study. In both cases, the higher pH was for thigh meat with higher moisture concentration.

1 However, in the Hassan et al. (2018) study, pH of broiler chickens' meat did not change
2 with increasing moisture concentration.

3 Lightness (L^*) and redness (a^*) did not vary in the thigh meat of birds receiving different
4 diets. However, yellowness (b^*) was lower in chickens fed diets with VO only compared
5 with treatments containing granulated fats of palm oil. Probably, pigments as carotenoids
6 could be loosen during the industrial process of raw pal oil to produce the granulated fat
7 of palm oil as CaSPO or PFPO. More research in this theme is warranted. We did not find
8 reports about pH influence on color in thigh meat, however, greater dark color in breast
9 meat with higher pH also has been found by others (Qiao et al., 2002; Gálvez et al., 2020).

10

11 **Mineral concentrations in breast and thigh**

12 Lower calcium levels were observed in breast meat of chickens fed diets containing VO
13 only (T1) or PFPO (T3), or PFPO+CaSPO (T4) diets than in meat of chickens fed diets
14 with CaSPO only (T2). The differences in calcium values in breast of chickens given
15 different diets with VO indicate that alterations in calcium deposition in breast meat do
16 occur when fat is included in the form of calcium soap. These results could indicate that
17 the calcium content of CaSPO did positively affect calcium deposition in meat. We did
18 not find bibliographic data to explain why the CaSPO diets induced higher Ca deposition
19 in meat of broiler chicken than VO.

20 Meat of breast and thigh of broiler chickens fed diets with PFPO (T3 and T4), consistently
21 exhibited lower calcium concentration than birds consuming diets with CaSPO (T1 and
22 T2). This result could be related to lower calcium in PFPO than in CaSPO. The PFPO is
23 formed by 99 crude fat while CaSPO contains 9 to 14% of ashes; the CaSPO is produced
24 by saponification of palm oil with calcium hydroxide, resulting in a granulated fat rich in

1 calcium, which presumably had more calcium available for absorption. Another factor
2 that could have contributed to lower calcium concentration in meat of broiler chickens
3 fed PFPO diets is its high palmitic acid concentration. Palm oil inclusion in diets for
4 broiler chickens reduces calcium digestibility (Abdulla et al., 2016) and deposition in
5 bones (Abdulla et al., 2017). According to Atteh and Leeson (1983) saturated fatty acids
6 like palmitic and stearic acids reduce calcium digestibility mainly by soap formation,
7 while unsaturated fatty acids like oleic and linoleic acids form soaps of higher
8 digestibility. The different lipid sources included in diets of the current study influenced
9 calcium deposition in meat of broiler chickens, and these calcium changes may influence
10 the changes in other minerals like phosphorus and magnesium, which could be caused by
11 the interaction of calcium with phosphorus or magnesium. The information on this theme
12 is limited and more research is warranted.

13

14 **CONCLUSION**

15 It was concluded that breast and thigh meat of broiler chickens fed diets containing prilled
16 fats of palm oil exhibited lower fat concentration than meat of chickens offered Ca salts
17 of palm oil or vegetable oil only. Lightness (L^*), redness (a^*), and yellowness (b^*) were
18 with small influence by dietary treatments, but lipid sources in diets altered mineral
19 composition of meat of broiler chickens. Therefore, the partial replacement of vegetable
20 oil with Ca salts of palm oil could be a way to naturally produce fat-enriched and calcium
21 and magnesium-enriched meat from broiler chickens.

22

23 **ACKNOWLEDGMENT**

1 We acknowledge the College of Veterinary Medicine and Animal Science, Universidad
2 Autónoma de Tamaulipas. We also acknowledge the Universidad Autónoma Agraria
3 Antonio Narro, Campus Saltillo. It is greatly appreciated the support with facilities and
4 technical staff provided by the two universities.

5 **CONFLICT OF INTEREST**

6 All authors declare that they do not have any conflict of interest in the current study.

7 **AUTHORS' CONTRIBUTIONS**

8 Omar G. Nájera-Pedraza: conceptualization, investigation, writing - review and editing.

9 Miguel Mellado-Bosque: conceptualization, formal analysis, supervision, writing -
10 review and editing.

11 José E. García-Martínez: supervision formal analysis, writing - review and editing.

12 Juan A. Encina-Domínguez: conceptualization, investigation, supervision, and review.

13 Jaime Salinas-Chavira: conceptualization, supervision, funding acquisition, editing and
14 drafted the manuscript.

15

16

17 **REFERENCES**

18 Abdulla, N. R., T. C. Loh, H. Akit, A. Q. Sazili and H. L. Foo. 2016. Effects of dietary
19 oil sources and calcium: phosphorus levels on growth performance, gut morphology
20 and apparent digestibility of broiler chickens. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 46: 42-53.
21 <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v46i1.6>

22 Abdulla, N. R., T.C. Loh, H. Akit, A. Q. Sazili, H. L. Foo, K. Y. Kareem, R. Mohamad
23 and R. A. Rahim. 2017. Effects of dietary oil sources, calcium and phosphorus levels

- 1 on growth performance, carcass characteristics and bone quality of broiler chickens.
2 J. Appl. Animal Res. 45: 423-429.
3 <http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2016.1206903>
- 4 Abdulla, N.R., T. C. Loh, H. L. Foo, M. I. Alshelmani, H. Akit. 2019. Influence of dietary
5 ratios of n-6: n-3 fatty acid on gene expression, fatty acid profile in liver and breast
6 muscle tissues, serum lipid profile, and immunoglobulin in broiler chickens. J. Appl.
7 Poult. Res. 28: 454-469. <https://doi.org/10.3382/japr/pfz008>
- 8 Allahyari-Bake, S. and R. Jahanian. 2017. Effects of dietary fat source and supplemental
9 lysophosphatidylcholine on performance, immune responses, and ileal nutrient
10 digestibility in broilers fed corn/soybean meal- or corn/wheat/soybean meal-based
11 diets. Poult. Sci. 96: 1149-1158. <https://doi.org/10.3382/ps/pew330>
- 12 AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. Association
13 of Official Analytical Chemists International, Gaithersburg, MD.
- 14 Atteh, J. O., and S. Leeson. 1983. Effects of dietary fatty acids and calcium levels on
15 performance and mineral metabolism of broiler chickens. Poult. Sci. 62: 2412-2419.
16 <https://doi.org/10.3382/ps.0622412>
- 17 Baião, N. C. and L. J. C. Lara. 2005. Oil and fat in broiler nutrition. Braz. J. Poult. Sci. 7:
18 129-141. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2005000300001>
- 19 Bogosavljević-Bošković, S., Z. Pavlovski, M.D. Petrović, V. Dosković and S Rakonjac.
20 2010. Broiler meat quality: Proteins and lipids of muscle tissue. Afr. J. Biotechnol.
21 9: 9177-9182. URL: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/125762>
- 22 Calik, A., S. Yalcin, S. Küçükersan, P. Saçakli, G. Yildiz, M. S. Ramay, O. Ahlat, F. K.
23 E. Elibol and S. Taban. 2019. Effects of calcium soaps of animal fats on performance,
24 abdominal fat fatty acid composition, bone biomechanical properties, and tibia

- 1 mineral concentration of broilers. *Kafkas Univ, Veteriner Fakultesi Dergisi*. 25: 61-
2 70. DOI: 10.9775/kvfd.2018.20329
- 3 Cheng, Y. F., Y. P. Chen, X. H. Li, W. L. Yang, C. Wen, Y. R. Kang, A. Q. Wang and
4 Y. M. Zhou. 2017. Effects of synbiotic supplementation on growth performance,
5 carcass characteristics, meat quality and muscular antioxidant capacity and mineral
6 contents in broilers. *J. Sci. Food Agric*. 97: 3699-3705. doi: 10.1002/jsfa.8230
- 7 De Oliveira, J., S. V. Avanço, M. Garcia-Neto and E. H. G. Ponsano. 2016. Composition
8 of broilers meat. *J. Appl. Poult. Res.* 25: 173-181.
9 <http://dx.doi.org/10.3382/japr/pfv095>
- 10 Fick, K. R., L. R. McDowell, P. H. Miles, N. S. Wilkinson, J. D. Funk and J. H. Conrad.
11 1979. *Methods of mineral analysis for plant and animal tissues*. 2nd Edition,
12 Department of Animal Science, University of Florida, Gainesville.
- 13 Gálvez, F., R. Domínguez, A. Maggolino, M. Pateiro, J. Carballo, P. De Palo, F. J. Barba
14 and J. M. Lorenzo. 2020. Meat quality of commercial chickens reared in different
15 production systems: industrial, range and organic. *Ann. Anim. Sci.* 20: 263-285.
16 DOI: 10.2478/aoas-2019-0067
- 17 Grimesd, J. L., V. Maurices, F. Lightseyt and G. Gaylord. 1996. Dietary prilled fat and
18 layer chicken performance and egg composition. *Poult. Sci.* 75: 250-253.
19 <https://doi.org/10.3382/ps.0750250>
- 20 Grummer, R. R. 1988. Influence of prilled fat and calcium salt of palm oil fatty acids on
21 ruminal fermentation and nutrient digestibility. *J. Dairy Sci.* 71: 117-123.
22 [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79532-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79532-6)
- 23 Hassan, S. S., Y. A. Attia, A. E. H. E. Abd-El-Hamid, S. A. Nagadi and A. El-Ashry.
24 2018. Impact of increasing dietary oil concentrations with a constant energy level on

- 1 the tolerance of broiler chickens to a high ambient temperature. *Rev. Mex. Cienc.*
2 *Pecu.* 9: 220-239. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v9i2.4377>
- 3 INEGI. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2017. Anuario
4 Estadístico del Estado de Tamaulipas (Spanish).
5 http://www.datatur.sectur.gob.mx/itxef_docs/tams_anuario_pdf.pdf. Accessed 3
6 March 2023.
- 7 Infante-Rodríguez, F., J. Salinas-Chavira, M. F. Montaña-Gómez, O. M. Manríquez-
8 Nuñez, V. M. González-Vizcarra, O. F. Guevara-Florentino and J. A. Ramirez De
9 Leon. 2016. Effect of diets with different energy concentrations on growth
10 performance, carcass characteristics and meat chemical composition of broiler
11 chickens in dry tropics. *SpringerPlus.* 5 (Article number: 1937): 1-6.
12 <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3608-0>
- 13 Jaapar, M. S., M. Alshelmani, A. M. Humam, T. C. Loh, H. L. Fos and H. Akit. 2020.
14 Effect of feeding prilled palm fat with lyso-lecithin on broiler growth performance,
15 nutrient digestibility, lipid profile, carcass and meat quality. *Poult. Sci. J.* 8: 43-50.
16 DOI: 10.22069/psj.2020.17319.1522
- 17 Khatun, J., T. C. Loh, H. Akit, H. L. Fos and R.Mohamad. 2018. Influence of different
18 sources of oil on performance, meat quality, gut morphology, ileal digestibility and
19 serum lipid profile in broilers. *J. Appl. Anim. Res.* 46: 479-485.
20 <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1337580>
- 21 Legawa, A. T., C. Wattanachant and S. Wattanasit. 2018. Carcass characteristics and meat
22 quality of broilers fed with crude glycerin originated from palm oil and wasted
23 vegetable oil in diets. *Acta Sci. - Anim. Sci.* 40(e39585): 1-6. Doi:
24 10.4025/actascianimsci.v40i1.39585

- 1 Liu, G. D., G. Y. Hou, D. J. Wang, S. J. Lv, X. Y. Zhang, W. P. Sun and Y. Yang. 2008.
2 Skin pigmentation evaluation in broilers fed different levels of natural okra and
3 synthetic pigments. *J. Appl. Poult. Res.* 17: 498-504.
4 <https://doi.org/10.3382/japr.2008-00058>
- 5 Marcu, A., I. Vacaru-Opriş, A. Marcu, M. Nicula, D. Dronca, B. Kelcirov. 2012. The
6 influence of feed energy and protein level on meat quality at “Hubbard F15” broiler
7 chickens. *Animal Science and Biotechnologies.* 45: 432-439.
- 8 Marcu, A., I. Vacaru-Opriş, G. Dumitrescu, A. Marcu, C. L. Petculescu, M. Nicula, D.
9 Dronca and B. Kelcirov. 2013. Effect of diets with different energy and protein levels
10 on breast muscle characteristics of broiler chickens. *Animal Science and*
11 *Biotechnologies.* 46: 333-340.
- 12 Milicevic, D., D. Trbovic, Z. Petrovic, B. Jakovac-Strajn, I. Nastasijevic and V.
13 Koricanac. 2015. Physicochemical and functional properties of chicken meat.
14 *Procedia Food Science*; 5: 191-194. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.09.054>
- 15 Nájera-Pedraza, O. G., M. A. Mellado-Bosque, J. E. García-Martínez, J. A. Encina-
16 Domínguez and J. Salinas-Chavira. 2023. Replacement of conventional vegetable oil
17 with granulated fats of palm oil prilled fats and calcium soaps in broiler chicken diet:
18 performance and carcass traits. *Braz. J. Poult. Sci.* 25: 1-8.
19 <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2022-1694>
- 20 National Research Council (NRC). 1994. Nutrient requirements of poultry, 9th ed.
21 National Academy Press Washington.
- 22 NOM - Norma Oficial Mexicana. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y
23 silvestres [NOM-033-SAG/ZOO-2014]. 2014 [cited 2020 Jun 19]. (Spanish).

- 1 Available from: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203456/NOM-](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203456/NOM-033-SAGZOO-2014_260815.pdf)
2 [033-SAGZOO-2014_260815.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203456/NOM-033-SAGZOO-2014_260815.pdf).
- 3 Ozturk, E., N. Ocak, I. Coskun, S. Turhan and G. Erener. 2010. Effects of humic
4 substances supplementation provided through drinking water on performance,
5 carcass traits and meat quality of broilers. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 94: 78-85.
6 doi: 10.1111/j.1439-0396.2008.00886.x
- 7 Ozturk, E., N. Ocak, A. Turan, G. Erener, A. Altop and S. Cankaya. 2012. Performance,
8 carcass gastrointestinal tract and meat quality traits and selected blood parameters of
9 broilers fed diets supplemented with humic substances. *J. Sci. Food Agric.* 92: 59–
10 65. DOI: 10.1002/jsfa.4541
- 11 Parveez, G. K. A., N. N. Kan, N. Z. Zawawi, M. Ong-Abdullah, R. Rasuddin, S. K. Loh,
12 K. R. Selvaduray, S. S. Hoong and Z Idris. 2022. Oil palm economic performance
13 in Malaysia and R&D progress in 2021. *J. Oil Palm Res.* 33: 181-214.
14 <https://doi.org/10.21894/jopr.2021.0026>
- 15 Qiao, M., D. L. Fletcher, D. P. Smith and J. K. Northcutt. 2001. The effect of broiler
16 breast meat color on pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification
17 capacity. *Poult. Sci.* 80: 676-680. <https://doi.org/10.1093/ps/80.5.676>
- 18 Qiao, M., D. L. Fletcher, J. K. Northcutt and D. P. Smith. 2002. The relationship between
19 raw broiler breast meat color and composition. *Poult. Sci.* 81: 422-427.
20 <https://doi.org/10.1093/ps/81.3.422>
- 21 Ravindran, V., P. Tanchaorenrat, F. Zaefarian, G. Ravindran. 2016. Fats in poultry
22 nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilisation. *Anim. Feed*
23 *Sci. Technol.* 213: 1–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.01.012>

- 1 Ren, C. X., Y. J. Wang, X. F. Lin, F. Yang, J. Chen, H. Q. Song, K. Shi, J. S. Song, F.
2 Chen, S. H. Zhang and W. T. Guan. 2020. Palm oil encapsulated by homogenizing
3 and spray drying enhances nutrient digestibility and attenuates diarrhoea of piglets.
4 *Anim. Feed Sci. Technol.* 266 (August): article 114503.
5 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114503>
- 6 Salinas, J., R. G. Ramirez, M. M. Domínguez, N. Reyes-Bernal, N. Trinidad-Larraga and
7 M. F. Montano. 2006. Effect of calcium soaps of tallow on growth performance and
8 carcass characteristics of Pelibuey lambs. *Small Rumin. Res.* 66: 135-139.
9 <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.07.058>
- 10 Skřivan, M., M. Marounek, M. Englmaierová, L. Čermák, J. Vlčková and E. Skřivanova.
11 2018. Effect of dietary fat type on intestinal digestibility of fatty acids fatty acid
12 profiles of breast meat and abdominal fat and mRNA expression of lipid-related
13 genes in broiler chickens. *PloS ONE.* 13: e0196035.
14 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196035>
- 15 Souza, X. R., P. B. Faria and M. C. Bressan. 2011. Proximate composition and meat
16 quality of broilers reared under different production systems. *Braz. J. Poult. Sci.* 13:
17 15-20. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2011000100003>
- 18 Sudharsan, C., S. S. Murugan, B. Chacks, S. Juliet, S. N. Nair, A. Bency and A. K.
19 Muneer. 2020. Influence of dietary substitution of palm oil by rapeseed oil at
20 different levels on growth performance and economics of broilers. *Indian J. Anim.*
21 *Res.* 55: 445-450. DOI: 10.18805/ijar.B-3969
- 22 Tang, M. Y., Q. G. Ma, X. D. Chen and C. Ji. 2007. Effects of dietary metabolizable
23 energy and lysine on carcass characteristics and meat quality in Arbor Acres broilers.
24 *Asian-australas. J. Anim. Sci.* 20: 1865-1873. <https://doi.org/10.5713/ajas.2007.1865>

- 1 Tancharoenrat, P., V. Ravindran, F. Zaefarian and G. Ravindran. 2014. Digestion of fat
2 and fatty acids along the gastrointestinal tract of broiler chickens. *Poult. Sci.* 93: 371-
3 379. [http://dx.doi.org/ 10.3382/ps.2013-03344](http://dx.doi.org/10.3382/ps.2013-03344)
- 4 Villanueva-Lopez, D. A., F. Infante-Rodríguez, O. G Nájera-Pedraza, H. B. Barrios-
5 García and J. Salinas-Chavira. 2020. Effect of dietary frying fat vegetable oil and
6 calcium soaps of palm oil on the productive behavior and carcass yield of broiler
7 chickens. *Braz. J. Poult. Sci.* 22: 1-8. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2020-1310>
- 8
9
10

1

2 **Table 1.** Ingredient and nutrient compositions of the experimental diets, for the starter
3 phase (1-21 days of age).

| Ingredients (%) | VO (T1) | 50% CaSPO (T2) | 50% PFPO (T3) | 50% PFPO + 50% CaSPO (T4) |
|-------------------------------|---------|----------------|---------------|---------------------------|
| Sorghum grain | 58.9 | 58.9 | 58.9 | 58.9 |
| Soybean meal | 33.7 | 33.7 | 33.7 | 33.7 |
| Vegetable oil | 3.4 | 1.7 | 1.7 | 0 |
| Prilled fats of palm oil | 0 | 0 | 1.7 | 1.7 |
| Calcium soaps of palm oil | 0 | 1.7 | 0 | 1.7 |
| Premix* | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Nutrient composition | | | | |
| Crude protein, % | 21.4 | 21.4 | 21.4 | 21.4 |
| Metabolizable energy, kcal/kg | 3040 | 3040 | 3040 | 3040 |

4 T1= 100% vegetable oil (VO); T2= 50% VO + 50% calcium salts of palm oil (CaSPO);

5 T3= 50% VO + 50% prilled fats of palm oil (PFPO); T4= 50% CaSPO + 50% PFPO.

6 *Premix: monocalcium phosphate, calcium carbonate, common salt, growth promoter
7 (BDM and 3-nitro), sodium monensin, mineral oil, ethoxyquin, retinol (vitamin A-
8 acetate), cholecalciferol-D3 (vitamin D3), α -tocopheryl acetate (vitamin E), vitamin K3,
9 riboflavin (vitamin B2), cobalamin (vitamin B12), niacin (vitamin B3), calcium D-
10 pantothenate (vitamin B5), choline chloride (vitamin B4), butylated hydroxytoluene
11 (BHT). Calculated to contain: 21.4% Ca; 8.1% total P; 3.4% Na; 0.8% L-lysine
12 chlorhydrate; and 4.15% DL-methionine.

13

14

15

1

2 **Table 2.** Ingredient and nutrient compositions of the control diets (%),(%), for the finisher
3 phase (22-42 days of age)

| Ingredients (%) | VO (T1) | 50% CaSPO (T2) | 50% PFPO (T3) | 50% PFPO + 50% CaSPO (T4) |
|-------------------------------|------------|-------------------|------------------|------------------------------|
| Sorghum grain | 65.6 | 65.6 | 65.6 | 65.6 |
| Soybean meal | 26.4 | 26.4 | 26.4 | 26.4 |
| Vegetable oil | 3.7 | 1.85 | 1.85 | 0 |
| Prilled fats of palm oil | 0 | 0 | 1.85 | 1.85 |
| Calcium soaps of palm oil | 0 | 1.85 | 0 | 1.85 |
| Premix* | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Pigment | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Nutrient composition | | | | |
| Crude protein, % | 18.7 | 18.7 | 18.7 | 18.7 |
| Metabolizable energy, kcal/kg | 3120 | 3120 | 3120 | 3120 |

4 T1= 100% vegetable oil (VO); T2= 50% VO + 50% calcium salts of palm oil (CaSPO);

5 T3= 50% VO + 50% prilled fats of palm oil (PFPO); T4= 50% CaSPO + 50% PFPO.

6 *Premix: monocalcium phosphate, calcium carbonate, common salt, growth promoter
7 (BDM and 3-nitro), sodium monensin, mineral oil, ethoxyquin, retinol (vitamin A-
8 acetate), cholecalciferol-D3 (vitamin D3), α -tocopheryl acetate (vitamin E), vitamin K3,
9 riboflavin (vitamin B2), cobalamin (vitamin B12), niacin (vitamin B3), calcium D-
10 pantothenate (vitamin B5), choline chloride (vitamin B4), butylated hydroxytoluene
11 (BHT). Pre-mix calculated to contain: 19.80% Ca; 3.7% total P; 3.7% Na; 4.3% L-lysine
12 chlorhydrate; and 5.2% DL-methionine.

13

14

15

1 **Table 3.** Breast's meat physicochemical traits of broiler chickens fed diets formulated with different fat sources.

| Item | Treatments (T) | | | | SEM | P-value of contrast | |
|------------------|----------------|----------------|---------------|---------------------------|-------|---------------------|------------------|
| | VO (T1) | 50% CaSPO (T2) | 50% PFPO (T3) | 50% PFPO + 50% CaSPO (T4) | | T1, T2 vs T3, T4 | T1, T3 vs T2, T4 |
| Water, % | 76.69 | 76.09 | 75.38 | 75.82 | 0.34 | 0.12 | 0.89 |
| Crude protein; % | 23.59 | 24.24 | 23.76 | 25.26 | 0.50 | 0.41 | 0.15 |
| Ash, % | 1.16 | 1.14 | 1.15 | 1.12 | 0.009 | 0.42 | .072 |
| Ether extract, % | 1.46 | 1.32 | 1.02 | 0.98 | 0.10 | 0.02 | 0.57 |
| pH | 5.79 | 5.82 | 5.78 | 5.74 | 0.04 | 0.50 | 0.93 |
| Lightness (L*) | 49.99 | 49.08 | 50.55 | 50.57 | 0.73 | 0.34 | 0.67 |
| Redness (a*) | 3.00 | 3.43 | 2.49 | 2.47 | 0.26 | 0.06 | 0.58 |
| Yellowness (b*) | 7.48 | 10.60 | 9.50 | 10.57 | 0.87 | 0.44 | 0.11 |

2 T1= 100% vegetable oil (VO); T2= 50% VO + 50% calcium salts of palm oil (CaSPO);

3 T3= 50% VO + 50% prilled fats of palm oil (PFPO); T4= 50% CaSPO + 50% PFPO.

4 ^{a,b}Means within the same row with different superscript differ (P < 0.05).

5

6

7

8

1

2 **Table 4.** Thighs' meat physicochemical traits of broiler chickens fed diets formulated with different fat sources.

| Item | Treatments (T) | | | | SEM | P-value of contrast | |
|------------------|--------------------|--------------------|---------------------|------------------------------|------|---------------------|---------------------|
| | VO (T1) | 50% CaSPO (T2) | 50% PFPO (T3) | 50% PFPO + 50% CaSPO (T4) | | T1, T2 vs T3, T4 | T1, T3 vs T2, T4 |
| Water, % | 78.31 ^a | 76.94 ^b | 77.62 ^{ab} | 77.52 ^{ab} | 0.20 | 0.86 | 0.01 |
| Crude protein; % | 22.00 | 22.45 | 22.21 | 22.63 | 0.30 | 0.66 | 0.40 |
| Ash, % | 1.09 ^a | 1.00 ^b | 1.02 ^b | 1.05 ^{ab} | 0.01 | 0.26 | <0.01 |
| Ether extract, % | 2.31 | 2.27 | 1.88 | 1.56 | 0.13 | <0.01 | 0.08 |
| pH | 6.16 ^a | 5.86 ^b | 6.02 ^{ab} | 6.00 ^{ab} | 0.04 | 1.00 | <0.01 |
| Lightness (L*) | 47.07 | 47.02 | 48.67 | 47.93 | 0.65 | 0.20 | 0.47 |
| Redness (a*) | 5.88 | 6.03 | 6.57 | 5.92 | 0.40 | 0.61 | 0.67 |
| Yellowness (b*) | 7.35 ^b | 10.55 ^a | 10.47 ^a | 11.61 ^a | 0.47 | <0.01 | <0.01 |

3 T1= 100% vegetable oil (VO); T2= 50% VO + 50% calcium salts of palm oil (CaSPO);

4 T3= 50% VO + 50% prilled fats of palm oil (PFPO); T4= 50% CaSPO + 50% PFPO.

5 ^{a,b}Means within the same row with different superscripts differ (P < 0.05).

6

7

8

1

2 **Table 5.** Mineral concentrations in breast meat of broiler chickens fed diets formulated with different fat sources.

| Mineral (mg/kg) | Treatments (T) | | | | SEM | P-value of contrast | |
|-----------------|--------------------|---------------------|--------------------|------------------------------|-------|---------------------|---------------------|
| | VO (T1) | 50% CaSPO (T2) | 50% PFPO (T3) | 50% PFPO + 50% CaSPO (T4) | | T1, T2 vs T3, T4 | T1, T3 vs T2, T4 |
| Potassium | 3399 | 3456 | 3100 | 3003 | 198 | 0.20 | 0.94 |
| Sodium | 11682 ^a | 12050 ^a | 6864 ^b | 6948 ^b | 72 | <0.01 | 0.04 |
| Copper | 1.83 ^{ab} | 2.27 ^a | 2.17 ^a | 1.29 ^b | 0.15 | 0.15 | 0.32 |
| Iron | 19.05 | 10.86 | 9.21 | 11.19 | 2.01 | 0.11 | 0.29 |
| Zinc | 8.65 | 9.69 | 9.38 | 8.63 | 0.53 | 0.83 | 0.85 |
| Magnesium | 133.6 ^b | 158.2 ^{ab} | 69.5 ^b | 287.2 ^a | 22.9 | 0.33 | <0.01 |
| Calcium | 862 ^b | 1402 ^a | 93.28 ^c | 91.42 ^c | 43.44 | <0.01 | <0.01 |
| Phosphorus | 2166 ^b | 2307 ^b | 2489 ^{ab} | 2694 ^a | 58 | <0.01 | 0.05 |

3 T1= 100% vegetable oil (VO); T2= 50% VO + 50% calcium salts of palm oil (CaSPO);

4 T3= 50% VO + 50% prilled fats of palm oil (PFPO); T4= 50% CaSPO + 50% PFPO.

5 ^{a,b,c}Means within the same row with different superscripts differ (P < 0.05).

6

7

8

9

1

2 **Table 6.** Mineral concentrations in thigh meat of broiler chickens fed diets formulated with different fat sources.

3

| Mineral (mg/kg) | Treatments (T) | | | | SEM | P-value of contrast | |
|-----------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|-------|---------------------|------------------|
| | VO (T1) | 50% CaSPO (T2) | 50% PFPO (T3) | 50% PFPO + 50% CaSPO (T4) | | T1, T2 vs T3, T4 | T1, T3 vs T2, T4 |
| Potassium | 2758 | 2370 | 2218 | 2413 | 111 | 0.13 | 0.55 |
| Sodium | 11823 ^a | 9985 ^a | 7391 ^b | 6960 ^b | 412 | <0.01 | 0.07 |
| Copper | 2.32 ^{ab} | 2.13 ^b | 2.68 ^a | 1.09 ^c | 0.07 | <0.01 | <0.01 |
| Iron | 15.17 ^a | 10.96 ^{ab} | 10.04 ^b | 9.77 ^b | 0.78 | 0.01 | 0.06 |
| Zinc | 17.43 | 18.33 | 17.02 | 15.15 | 1.25 | 0.33 | 0.79 |
| Magnesium | 106.37 | 67.97 | 575.49 | 59.80 | 100.4 | 0.12 | 0.07 |
| Calcium | 1383 ^a | 445 ^b | 98 ^b | 286 ^b | 134 | <0.01 | 0.07 |
| Phosphorus | 2087 | 2118 | 2158 | 2173 | 62 | 0.49 | 0.80 |

4 T1= 100% vegetable oil (VO); T2= 50% VO + 50% calcium salts of palm oil (CaSPO);

5 T3= 50% VO + 50% prilled fats of palm oil (PFPO); T4= 50% CaSPO + 50% PFPO.

6 ^{a,b,c}Means within the same row with different superscripts differ (P < 0.05).

7

8

9

CONCLUSIÓN GENERAL

El uso de grasas en forma de jabones cálcicos derivados del aceite de palma como sustituto al aceite vegetal común en las dietas de pollos de engorda puede tener un ligero impacto negativo en el rendimiento productivo. Por otro lado, si el costo de estas grasas es inferior al del aceite vegetal podría justificarse su utilización. Por otro lado, las grasas encapsuladas de aceite de palma podrían reemplazar al aceite vegetal convencional en las dietas de pollos de engorda sin afectar su desempeño productivo, por lo que su inclusión en las dietas podría estar determinada por consideraciones de costo

La carne de pechuga y muslo de pollos de engorda que fueron alimentados con dietas que contenían grasas encapsuladas de aceite de palma exhibieron una concentración de grasa más baja que la carne de pollos a la que se les ofrecieron jabones cálcicos derivados de aceite de palma o aceite de origen vegetal. La luminosidad (L^*), el enrojecimiento (a^*) y la amarillez (b^*) presentaron baja influencia en los tratamientos dietéticos, pero las fuentes de lípidos en las dietas alteraron la composición mineral de la carne de pollos de engorda. Por lo tanto, el reemplazo parcial del aceite vegetal con jabones cálcicos de aceite de palma podría ser una forma de producir naturalmente carne enriquecida con grasa, calcio y magnesio.

Es necesario seguir investigando tanto los jabones cálcicos como las grasas encapsuladas derivadas del aceite de palma para determinar su aplicación adecuada en la alimentación de animales no rumiantes.

REFERENCIAS

- Abdel-Hakim, H. H., M, A.-H. H., Tawfeek, S. S., & A, H. M. (2016). Effect of calcium soap of palm oil fatty acids on milk composition, ewe and lamb performance in a crossbred sheep. *Journal of veterinary medical research*, 2016(1), 46–60. <http://www.bsu.edu.eg/bsujournals/JVMR.aspx>
- Abdollahi, M. R., Ravindran, V., Svihus, B. (2013). Pelleting of broiler diets: an overview with emphasis on the pellet quality and nutritional value. *Animal Feed Science and Technology* 179, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.10.011>
- Abdulla, N. R., Loh, T. C., Foo, H. L., Alshelmani, M. I., & Akit, H. (2019). Influence of dietary ratios of n-6: n-3 fatty acid on gene expression, fatty acid profile in liver and breast muscle tissues, serum lipid profile, and immunoglobulin in broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(2), 454–469. <https://doi.org/10.3382/JAPR/PFZ008>
- Abdulla, N., Loh, T., Akit, H., Sazili, A., & Foo, H. (2016). Effects of dietary oil sources and calcium: phosphorus levels on growth performance, gut morphology and apparent digestibility of broiler chickens. *South African Journal of Animal Science*, 46(1), 42. <https://doi.org/10.4314/sajas.v46i1.6>
- Adeyemi, O. A., Njoku, C. P., Odunbaku, O. M., Sogunle, O. M., Egbeyale, L. T. (2015). Response of broiler chickens to quantitative feed restriction with or without ascorbic acid supplementation. *Iranian Journal of Applied Animal Science* 5, 393-401.
- Aftab, U. (2019). Energy and amino acid requirements of broiler chickens: Keeping pace with the genetic progress. In *World's Poultry Science Journal* (Vol. 75, Issue 4, pp. 507–514). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S0043933919000564>
- Ahaotu, E. O., Patricio, D. R., Ibe, L. C., & Singh, R. R. (2019). Climate change in poultry production system - A review. *Acta Scientific Agriculture*, 3(9), 113–117. <https://doi.org/10.31080/ASAG.2019.03.0617>
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists International, Gaithersburg, MD.
- Appleby, M.C. (2004). What causes crowding? Effects of space, facilities and group size on behaviour, with particular reference to furnished cages for hens, *Animal Welfare* 13, 313–320.
- Applegate, T. J., & Angel, R. (2014). Nutrient requirements of poultry publication: History and need for an update. In *Journal of Applied Poultry Research* (Vol. 23, Issue 3, pp. 567–575). Oxford University Press. <https://doi.org/10.3382/japr.2014-00980>

- Arnould, C., Leterrier, C. (2007). Welfare of chickens reared for meat production. *Productions Animales* 20, 41–45.
- Arowolo, M. A., He, J. H., He, S. P., & Adebawale, T. O. (2019). The implication of lighting programmes in intensive broiler production system. In *World's Poultry Science Journal* (Vol. 75, Issue 1, pp. 17–28). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S0043933918000934>
- Attia, Y. A., Al-Harthi, M. A., & El-Maaty, H. M. A. (2020). The effects of different oil sources on performance, digestive enzymes, carcass traits, biochemical, immunological, antioxidant, and morphometric responses of broiler chicks. *Frontiers in Veterinary Science* 7, 181. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00181>
- AVIAGEN. (2018). Manual de manejo del pollo de engorda Ross. Consulta el 15 abril de 2023. https://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Ross-BroilerHandbook2018-ES.pdf
- AVIAGEN. (2019). Manejo esencial de la ventilación. Consulta el 15 abril de 2023, Disponible en: http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/AviagenEssentialVentilationManagement-2019-ES.pdf
- AVIAGEN. (2022). POLLO ROSS: Especificaciones nutricionales. Consulta el 12 mayo de 2023, Disponible en: https://eu.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Ross-BroilerNutritionSpecifications2022-ESEU.pdf
- Avicultura.com (2022). Vacunaciones en pollos - Avicultura. Consulta el 14 marzo de 2023. Disponible en: <https://avicultura.com/vacunaciones-en-pollos/>
- Babatunde, O. O., Park, C. S., & Adeola, O. (2021). Nutritional potentials of atypical feed ingredients for broiler chickens and pigs. In *Animals* (Vol. 11, Issue 5). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ani11051196>
- Baião, N. C., & Lara, L. C. (2005). Oil and fat in broiler nutrition. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 7 (3). <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2005000300001>
- Bailey, C. A. (2019). Precisión poultry nutrition and feed formulation. In *Animal Agriculture: Sustainability, Challenges and Innovations* (pp. 367–378). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00021-5>
- Barbosa, A., Balagué, V., Valera, F., Martínez, A., Benzal, J., Motas, M., Diaz, J. I., Mira, A., & Pedrós-Alió, C. (2016). Age-related differences in the gastrointestinal microbiota of chinstrap penguins (*Pygoscelis antarctica*). *PLOS ONE* 11(4), e0153215. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153215>

- Bašić, M., Mahmutović, H., Cvrk, R., & Smajlović, V. (2012). Uticaj vrste masti u hrani za tov pilića na klaničke parametre utovljenih pilića. *Scientific Journal "Meat Technology"*, 53(2), 85-93. Retrieved from https://www.journalmeattechnology.com/index.php/meat_technology/article/view/238
- Bayram, A., & Özkan, S. (2010). Effects of a 16-hour light, 8-hour dark lighting schedule on behavioral traits and performance in male broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 19(3), 263–273. <https://doi.org/10.3382/JAPR.2009-00026>
- Behan, A. A., Loh, T. C., Fakurazi, S., Kaka, U., Kaka, A., & Samsudin, A. A. (2019). Effects of Supplementation of Rumen Protected Fats on Rumen Ecology and Digestibility of Nutrients in Sheep. *Animals* 2019, Vol. 9, Page 400, 9(7), 400. <https://doi.org/10.3390/ANI9070400>
- Bessei, W. (2006). Welfare of broilers: A review. In *World's Poultry Science Journal* (Vol. 62, Issue 3). <https://doi.org/10.1079/WPS2005108>
- Bogosavljević-Bošković, S., Pavlovski, Z., Petrović, M. D., Dosković, V., & Rakonjac, S. (2015). Broiler meat quality: Proteins and lipids of muscle tissue. *African Journal of Biotechnology*, 9(54), 9177–9182. <https://doi.org/10.4314/ajb.v9i54>.
- Björkholm, B., Bok, C. M., Lundin, A., Rafter, J., Hibberd, M. L., & Pettersson, S. (2009). Intestinal microbiota regulate xenobiotic metabolism in the liver. *PLoS ONE* 4(9), e6958. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006958>
- Bradshaw, R.H., Kirkden, R.D., Broom, D.M. (2002). A review of the aetiology and pathology of leg weakness in broilers in relation to welfare. *Avian and Poultry Biology Reviews* 13, 45–103.
- Brisbin, J. T., Gong, J., & Sharif, S. (2008). Interactions between commensal bacteria and the gut-associated immune system of the chicken. *Animal Health Research Reviews* 9(1), 101-110. <https://doi.org/10.1017/S146625230800145X>
- Busch, G. S., Achim, C.S. (2015). Citizens' evaluation of animal welfare on pictures of intensive broiler fattening. *German Journal of Agricultural Economics* 641, 131–144.
- Butzen, F. M., Ribeiro, A. M. L., Vieira, M. M., Kessler, A. M., Dadalt, J. C., & Della, M. P. (2013). Early feed restriction in broilers. I—Performance, body fraction weights, and meat quality. *Journal of Applied Poultry Research*, 22(2), 251-259. <https://doi.org/10.3382/japr.2012-00639>
- Çalik, A., Yalçın, S., Küçükersan, S., Saçaklı, P., Yıldız, G., Shazaib RAMAY, M., Ahlat, O., Kübra ERBAY ELIBOL, F., Taban, S., Yağın Yağ Asitleri Kalsiyum Tuzunun Broyler Performansı, H., Yağın Yağ Asidi Kompozisyonu, İ., & Biyomekanik Özellikleri ve Tibia Mineral Düzeyi Üzerine Etkisi Öz, K. (2019). Effects of Calcium

- Soaps of Animal Fats on Performance, Abdominal Fat Fatty Acid Composition, Bone Biomechanical Properties, and Tibia Mineral Concentration of Broilers. 25(1), 61–70. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2018.20329>
- Casey, K. D., Gates, R. S., Wheeler, E. F., Xin, H., Liang, Y., Pescatore, A. J. (2008). On-farm ventilation fan performance evaluations and implications. *Journal of Applied Poultry Research* 17, 283e295. <https://doi.org/10.3382/japr.2006-00055>
- Cherian, G. (2015). Nutrition and metabolism in poultry: Role of lipids in early diet. In *Journal of Animal Science and Biotechnology* (Vol. 6, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0029-9>
- Cobb Vantress. (2019). Guia de manejo de pollo de engorda. Consulta el 14 marzo de 2023, Disponible en: https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/ec35b0ab1e/Broiler-Guide-2019-ESP-WEB_2.22.2019.pdf
- Dereli Fidan, E., Nazlıgöl, A., Kenan Türkyılmaz, M., Ünübol Aypak, S., Kilimci, F. S., Karaarslan, S., Kaya, M., & Brasileira De Zootecnia, R. (2017). Effect of photoperiod length and light intensity on some welfare criteria, carcass, and meat quality characteristics in broilers. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(3), 202–210. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017000300004>
- De Jonge, J., & Van Trijp, H. C. M. (2013). The impact of broiler production system practices on consumer perceptions of animal welfare. *Poultry Science*, 92(12), 3080-3095. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03334>
- De Oliveira, J., Avanço, S. V., Garcia-Neto, M., & Ponsano, E. H. G. (2016). Composition of broilers meat. *Journal of Applied Poultry Research*, 25(2), 173–181. <https://doi.org/10.3382/JAPR/PFV095>
- Dewi, G. A. M. K., Astawa, P. A., & Sumadi, I. K. (2011). Effect of inclusion calcium-palm fatty acid (ca-pfa) on growth performance and profile of body fatty acid of broiler. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 36(1), 55-60. <https://doi.org/10.14710/jitaa.36.1.55-60>
- Di, L., Dai, X., Miao, D., Wu, S., & Hao, Y. (2018). Calculation of bandgap characteristic and electron effective mass in uniaxial strained Germanium. *Xi'an Dianzi Keji Daxue Xuebao/Journal of Xidian University*, 45(3), 24–29. <https://doi.org/10.3969/J.ISSN.1001-2400.2018.03.005>
- Dimitrov, K. M., Afonso, C. L., Yu, Q., & Miller, P. J. (2017). Newcastle disease vaccines—A solved problem or a continuous challenge? *Veterinary Microbiology*, 206, 126–136. <https://doi.org/10.1016/J.VETMIC.2016.12.019>
- Duarte, V. J., Ramírez, Z. G., & Castañeda S. R. (2016). Bypass fat: Applications and its production process for feeding ruminants in the tropic *REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIA ANIMAL*. 8(2):228-242 <http://www.recia.edu.com>

- Eftekhari, A., Rezaeipour, V., & Abdullahpour, R. (2015). Effects of acidified drinking water on performance, carcass, immune response, jejunum morphology, and microbiota activity of broiler chickens fed diets containing graded levels of threonine. *Livestock Science* 180, 158-163. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.07.010>
- El Sitio Avícola. (2016). Viruela aviar en ponedoras: un resumen – 2. Consulta el 08 mayo de 2023. Disponible en: <https://www.elsitioavicola.com/articles/2959/viruela-aviar-en-ponedoras-un-resumen-2/>
- FAO. (2013). Revisión del desarrollo avícola. Consulta el 14 marzo de 2023. Disponible en: www.fao.org/publications
- FAO. (2023). Producción y productos avícolas. Consulta el 20 abril de 2023. Disponible en: <https://www.fao.org/poultry-production-products/production/es/>
- Gálvez, F., Domínguez, R., Maggiolino, A., Pateiro, M., Carballo, J., De Palo, P., Barba, F. J., & Lorenzo, J. M. (2020). Meat Quality of Commercial Chickens Reared in Different Production Systems: Industrial, Range and Organic. *Annals of Animal Science*, 20(1), 263–285. <https://doi.org/10.2478/AOAS-2019-0067>
- Gallinger, C. I., Federico, F. J., Pighin, D. G., Cazaux, N., Trossero, M., Marsó, A., & Sinesi, C. (2016). Determinación de la composición nutricional de la carne de pollo argentina. *Diaeta*, 34(156), 10–18. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73372016000300003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Gates, R. S., Casey, K. D., Xin, H., & Burns, R. T. (2009). Building emissions uncertainty estimates. *Transactions of the ASABE* 52, 1345e1351.
- Gates, R. S., Casey, K. D., Xin, H., Wheeler, E. F., & Simmons, J. D. (2004). Fan assessment numeration system (FANS) design and calibration specifications. *Transactions of the ASAE*, 47, 1709e1715.
- Ge, X.K., Wang, A.A., Ying, Z.X., Zhang, L.G., Su, W.P., Cheng, K., Feng, C. C., Zhou, Y. M., Zhang, L. L., Wang, T. (2018). Effects of diets with different energy and bile acids levels on growth performance and lipid metabolism in broilers. *Poultry Science*. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pey434>
- Hafez, H. M., & Attia, Y. A. (2020). Challenges to the Poultry Industry: Current Perspectives and Strategic Future After the COVID-19 Outbreak. In *Frontiers in Veterinary Science* (Vol. 7). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00516>
- Hoff, S. J., Bundy, D. S., Nelson, M. A., Zelle, B. C., Jacobson, L. D., Heber, A. J. (2009). Real-time airflow rate measurements from mechanically ventilated

- animal buildings. *Journal of the Air & Waste Management Association* 59, 683e694. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.59.6.683>
- Infante-Rodríguez, F., Salinas-Chavira, J., Montañó-Gómez, M. F., Manríquez-Nuñez, O. M., González-Vizcarra, V. M., Guevara-Florentino, O. F., & Ramírez De León, J. A. (2016). Effect of diets with different energy concentrations on growth performance, carcass characteristics and meat chemical composition of broiler chickens in dry tropics. *SpringerPlus*, 5(1).
<https://doi.org/10.1186/s40064-016-3608-0>
- INTAGRI. (2015). Vacunación de las Aves. Consulta el 14 marzo de 2023. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/vacunacion-de-las-aves>
- İpek, A., & Sözcü, A. (2013). Broiler Chick Quality And Scoring Methods. *Journal of Agricultural Faculty of Uludag University*. In *Cilt* (Vol. 27), 131-137.
- Itzá-Ortiz, M. (2020). Parámetros productivos en la avicultura. - BM Editores. Consulta el 08 mayo de 2023. Disponible en: <https://bmeditores.mx/avicultura/parametros-productivos-en-la-avicultura/>
- Itzá-Ortiz, M. S., López-Coello, C., Ávila-González, E., Gómez-Rosales, S., Arce-Menocal, J., Velásquez-Madrado, P. A. (2008). Effect of energy source and level on the length of intestinal villi, immune response and the production performance in broilers. In *Vet. Méx* (Vol. 39, Issue 4). from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-50922008000400001&lng=en&tlng=.
- Jaapar, M. S., Alshelmani, M. I., Humam, A. M., Loh, T. C., Foo, H. L., & Akit, H. (2020). Effect of feeding prilled palm fat with lyso-lecithin on broiler growth performance, nutrient digestibility, lipid profile, carcass, and meat quality. *Poultry Science Journal*, 8(1), 43–50. <https://doi.org/10.22069/psj.2020.17319.1522>
- Jalali, S. M. A., Rabiei, R., & Kheiri, F. (2015). Effects of dietary soybean and sunflower oils with and without L-carnitine supplementation on growth performance and blood biochemical parameters of broiler chicks. *Archives Animal Breeding* 58, 387-394. <https://doi.org/10.5194/aab-58-387-2015>
- Jones, T. A., Donnelly, C. A., & Dawkins, M. S. (2005). ENVIRONMENT, WELL-BEING, AND BEHAVIOR Environmental and Management Factors Affecting the Welfare of Chickens on Commercial Farms in the United Kingdom and Denmark Stocked at Five Densities. *Poultry Science* 84:1155–1165
www.geminidataloggers.com
- Khatun, J., Loh, T. C., Akit, H., Foo, H. L., & Mohamad, R. (2018). Influence of different sources of oil on performance, meat quality, gut morphology, ileal

- digestibility and serum lipid profile in broilers. *Journal of Applied Animal Research* 46, 479-485. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1337580>
- Khatun, R., Reza, M. I. H., Moniruzzaman, M., & Yaakob, Z. (2017). Sustainable oil palm industry: The possibilities. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 76, pp. 608–619). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.077>
- Khurshid, A., Khan, A. A., Bandy, M. T., Ganai, A. M., Khan, H. M., Choudhary, A. R., Adil, S., Manzoor, A., Afzal, I., Untoo, M. (2019). Effect of feed restriction on performance of broiler chicken. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 7, 1054-1056.
- Knowles, T.G., Kestin, S.C., Haslam, S.M., Brown S.N., Green L.E., Butterworth, A., Nicol, C.J. (2008). Leg disorders in broiler chickens: Prevalence, risk factors and prevention, *PLOS One* 3 (2), e1545.
- Kpomasse, C. C., Oke, O. E., Houndonougbo, F. M., & Tona, K. (2021). Broiler production challenges in the tropics: A review. *Veterinary Medicine and Science*, 7(3), 831-842. <https://doi.org/10.1002/vms3.435>
- Lee, S. M., Donaldson, G. P., Mikulski, Z., Boyajian, S., Ley, K., & Mazmanian, S. K. (2013). Bacterial colonization factors control specificity and stability of the gut microbiota. *Nature*, 501(7467), 426-429. <https://doi.org/10.1038/nature12447>
- Leeson, S., Summers, J. D. (2005). *Commercial Poultry Nutrition*, 3rd ed. Nottingham University Press, Nottingham, UK.
- Legawa, A. T., Wattanachant, C., & Wattanasit, S. (2018). Carcass characteristics and meat quality of broilers fed with crude glycerin originated from palm oil and wasted vegetable oil in diets. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 40(1), e39585. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.39585>
- Liu, G. D., Hou, G. Y., Wang, D. J., Lv, S. J., Zhang, X. Y., Sun, W. P., & Yang, Y. (2008). Skin Pigmentation Evaluation in Broilers Fed Different Levels of Natural Okra and Synthetic Pigments. *Journal of Applied Poultry Research*, 17(4), 498–504. <https://doi.org/10.3382/JAPR.2008-00058>
- Liverpool-Tasie, L. S. O., Sanou, A., & Tambo, J. A. (2019). Climate change adaptation among poultry farmers: Evidence from Nigeria. *Climatic Change*, 157, 527–544. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02574-8>
- Long, G. L., Hao, W. X., Bao, L. F., Li, J. H., Zhang, Y., & Li, G. H. (2019). Effects of dietary inclusion levels of palm oil on growth performance, antioxidative status and serum cytokines of broiler chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 103, 1116-1124. <https://doi.org/10.1111/jpn.13108>
- Medel, P., Cortés, M., Rodríguez, M.A. & Cachaldora, P. (2002). Inclusión de la fuente de grasa en la dieta para pollos. *Mundo Ganadero*. Pp. 52-57.

- Meluzzi, A., & Sirri, F. (2009). Welfare of broiler chickens. In *Italian Journal of Animal Science* (Vol. 8, Issue SUPPL. 1, pp. 161–173). Avenue Media.
<https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s1.161>
- Milicevic, D., Trbovic, D., Petrovic, Z., Jakovac-Strajn, B., Nastasijevic, I., & Koricanac, V. (2015). Physicochemical and Functional Properties of Chicken Meat. *Procedia Food Science*, 5, 191–194.
<https://doi.org/10.1016/J.PROFOO.2015.09.054>
- Mir, N. A., Rafiq, A., Kumar, F., Singh, V., & Shukla, V. (2017). Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: a review. In *Journal of Food Science and Technology* (Vol. 54, Issue 10, pp. 2997–3009). Springer India. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2789-z>
- Mitrovi, S., Ermanovi, V., Radivojevi, M., Raji, Z., Živkovi, D., Ostoji, ore, & Filipovi, N. (2010). The influence of population density and duration of breeding on broiler chickens productivity and profitability. *African Journal of Biotechnology*, 9(28), 4486–4490. <http://www.academicjournals.org/AJB>
- Mohamed, A. S. A., Lozovskiy, A. R., & Ali, A. M. A. (2019). Strategies to combat the deleterious impacts of heat stress through feed restrictions and dietary supplementation (vitamins, minerals) in broilers. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 44(2), 155–166.
<https://doi.org/10.14710/jitaa.44.2.155-166>
- Mohammadalipour, R., Rahmani, H. R., Jahanian, R., Riasi, A., Mohammadalipour, M., & Nili, N. (2017). Effect of early feed restriction on physiological responses, performance and ascites incidence in broiler chickens raised in normal or cold environment. *Animal* 11(2), 219-226.
<https://doi.org/10.1017/S1751731116001555>
- Mottet, A., & Tempio, G. (2017). Global poultry production: Current state and future outlook and challenges. In *World's Poultry Science Journal* (Vol. 73, Issue 2, pp. 245–256). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/S0043933917000071>
- Mujahid, A., Akiba, Y., & Toyomizu, M. (2009). Progressive changes in the physiological responses of heat-stressed broiler chickens. *The Journal of Poultry Science* 46, 163-167.
- Mulder, M., & Zomer, S. (2017). Dutch Consumers' Willingness to Pay for Broiler Welfare. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 20(2), 137–154.
<https://doi.org/10.1080/10888705.2017.1281134>
- Musigwa, S., Morgan, N., Swick, R., Cozannet, P., & Wu, S. B. (2021). Optimisation of dietary energy utilisation for poultry – a literature review.

- <https://doi.org/10.1080/00439339.2020.1865117>, 77(1), 5–27.
<https://doi.org/10.1080/00439339.2020.1865117>
- Nkukwana, T. T. (2019). Global poultry production: Current impact and future outlook on the South African poultry industry. *South African Journal of Animal Science*, 48(5), 869–884. <https://doi.org/10.4314/sajas.v48i5>.
- Nooraida, W. W., & Abidah, M. N. (2020). Effects of pellet supplemented with different percentages of oil palm lipid sources on broiler performance, carcass trait and feed quality. *Journal of Oil Palm Research* 32, 313-325.
- NRC. (1994). *Nutrient Requirements of Poultry: Ninth Revised Edition*, 1994. Consulta el 18 febrero de 2023. Disponible en: <https://doi.org/10.17226/2114>
- Nwoche, G. N., Ndubuisi, E. C., & Iheukwumere, F. C. (2003). Effects of dietary palm oil on the performance of broiler chicks. *International Journal of Agriculture and Rural Development* 4, 81-86.
- OCDE. (2018). Exámenes de mercado de México: Estudio de caso del mercado de la carne de pollo. Consulta el 10 marzo de 2023. Disponible en: <https://www.oecd.org/daf/competition/examenes-de-mercado-en-mexico-carne-de-pollo-2018.htm>
- Olteanu, M., Criste, R.D., Mariana, R., Surdu, I. (2012). Effect of the neutral electrolyzed water (ANK) on broiler performance. *Archiva Zootechnica* 15(1), 77-85.
- Olteanu, M., Criste, R. D, Mircea, E., Panaite, T., Untea, A., Surdu, I. (2013). Effect of neutral electrolysed water (NEW) in laying hens. *Archiva Zootechnica*. 16(2), 67-73.
- OMSA. (2016). Acceso en línea al Código Terrestre. Consulta el 15 abril de 2023 https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-codigo-terrestre/?id=169&L=1&htmlfile=chapitre_aw_broiler_chicken.htm
- Ozturk, E., Coskun, I., Ocak, N., Erener, G., Dervisoglu, M., & Turhan, S. (2014). Performance, meat quality, meat mineral contents and caecal microbial population responses to humic substances administered in drinking water in broilers. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/00071668.2014.960807*, 55(5), 668–674. <https://doi.org/10.1080/00071668.2014.960807>
- Ozturk, E., Ocak, N., Coskun, I., Turhan, S., & Erener, G. (2010). Effects of humic substances supplementation provided through drinking water on performance, carcass traits and meat quality of broilers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 94(1), 78–85. <https://doi.org/10.1111/J.1439-0396.2008.00886.X>

- Panja, P., Kassim, H., & Jalaludin, S. (1995). Effects of palm oil and soybean oil as fat sources in isonitrogenous and isocaloric diets on the performance of broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 8, 223-229.
- Parveez, G. K. A., Tarmizi, A. H. A., Sundram, S., Loh, S. K., Ong-Abdullah, M., Palam, K. D. P., Salleh, K. M., Ishak, S. M., & Idris, Z. (2021). Oil palm economic performance in Malaysia and R&D progress in 2020. In *Journal of Oil Palm Research* (Vol. 33, Issue 2, pp. 181–214). Lembaga Minyak Sawit Malaysia. <https://doi.org/10.21894/jopr.2021.0026>
- Petek, M., Ustuner, H., Yesilbag, D. (2014). Effects of stocking density and litter Type on litter quality and growth performance of broiler chicken. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi* 20, 743–748
- Pourabedin, M., & Zhao, X. (2015). Prebiotics and gut microbiota in chickens. *FEMS Microbiology Letters*, 362(15), fnv122. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnv122>
- Prakash, A., Saxena, V. K., & Singh, M. K. (2020). Genetic analysis of residual feed intake, feed conversion ratio and related growth parameters in broiler chicken: a review. *World's Poultry Science Journal*, 76(2), 304–317. <https://doi.org/10.1080/00439339.2020.1735978>
- Qiao, M., Fletcher, D. L., Smith, D. P., & Northcutt, J. K. (2001). The Effect of Broiler Breast Meat Color on pH, Moisture, Water-Holding Capacity, and Emulsification Capacity. *Poultry Science*, 80(5), 676–680. <https://doi.org/10.1093/PS/80.5.676>
- Raccoursier, M., Thaxton, Y. V., Christensen, K., Aldridge, D. J., & Scanes, C. G. (2019). Light intensity preferences of broiler chickens: implications for welfare. *Animal*, 13(12), 2857–2863. <https://doi.org/10.1017/S175173111900123X>
- Raju, M. V. L. N., Rama Rao, S. V., Radhika, K., & Panda, A. K. (2005). Effect of amount and source of supplemental dietary vegetable oil on broiler chickens exposed to aflatoxicosis. *British Poultry Science*, 46(5), 587–594. <https://doi.org/10.1080/00071660500255968>
- Ravindran, V., Tancharoenrat, P., Zaefarian, F., & Ravindran, G. (2016). Fats in poultry nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilisation. In *Animal Feed Science and Technology* (Vol. 213, pp. 1–21). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.01.012>
- Ren, C. X., Wang, Y. J., Lin, X. F., Yang, F., Chen, J., Song, H. Q., Shi, K., Song, J. S., Chen, F., Zhang, S. H., & Guan, W. T. (2020). Palm oil encapsulated by homogenizing and spray drying enhances nutrient digestibility and attenuates diarrhoea of piglets. *Animal Feed Science and Technology*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114503>
- SAGARPA. (2009). Manual de buenas prácticas pecuarias en unidades de producción de pollo de engorda. Consulta el 15 abril de 2023, Disponible en:

https://www.academia.edu/8551214/Manual_de_Buenas_Pr%C3%A1cticas_Pecuarias_en_Unidades_de_Producci%C3%B3n

- Salinas, J., Ramírez, R. G., Domínguez, M. M., Reyes-Bernal, N., Trinidad-Lárraga, N., & Montaña, M. F. (2006). Effect of calcium soaps of tallow on growth performance and carcass characteristics of Pelibuey lambs. *Small Ruminant Research*, 66(1–3), 135–139. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.07.058>
- Saminathan, M., Mohamed, W. N. W., Noh, 'Abidah Md, Ibrahim, N. A., Fuat, M. A., & Ramiah, S. K. (2022). Effects of dietary palm oil on broiler chicken productive performance and carcass characteristics: a comprehensive review. *Tropical Animal Health and Production*, 54(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/S11250-022-03046-5/METRICS>
- Sassi, N. ben, Averós, X., & Estevez, I. (2016). Technology and poultry welfare. In *Animals* (Vol. 6, Issue 10). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ani6100062>
- Schwean-Lardner, K., Fancher, B. I., & Classen, H. L. (2012). Impact of daylength on behavioural output in commercial broilers. *Applied Animal Behaviour Science*, 137(1–2), 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.01.015>
- SENASICA. (2014). Manual para el bienestar de pollos de engorda. México 2014. Consulta el 16 marzo de 2023, Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/118404/1.ManualdeBienestarAnimal.pdf>
- SENASICA. (2019). Manual de buenas prácticas pecuarias en la producción de pollos de engorda. Tercera edición. Consulta el 04 mayo de 2023. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/588543/Manual_de_BPP_de_Produccion_de_Pollo_de_Engorda2019-comprimido2.pdf
- Shynkaruk, T., Classen, H. L., Crowe, T. G., & Schwean-Lardner, K. (2019). The impact of dark exposure on broiler feeding behavior and weight of gastrointestinal tract segments and contents. *Poultry Science* 98(6), 2448-2458. <https://doi.org/10.3382/ps/pez018>
- Singh, S., & Arumbaka, S. (2021). Effects of Bypass Fat and Prilled Fat Supplementation on Nutrition and Performance in Milch Animals : A Review. *International Journal of Livestock Research*, 0, 1. <https://doi.org/10.5455/ijlr.20210118081426>
- Sohail, M. U., Hume, M. E., Byrd, J. A., Nisbet, D. J., Ijaz, A., Sohail, A., Shabbir, M. Z., & Rehman, H. (2012). Effect of supplementation of prebiotic mannan oligosaccharides and probiotic mixture on growth performance of broilers subjected to chronic heat stress. *Poultry Science* 91, 2235–2240. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02182>

- Sommer, F., & Bäckhed, F. (2013). The gut microbiota—Masters of host development and physiology. *Nature Reviews Microbiology* 11(4), 227-238. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2974>
- Souza, X. R., Faria, P. B., & Bressan, M. C. (2011). Proximate composition and meat quality of broilers reared under different production systems. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 13(1), 15–20. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2011000100003>
- Stanley, D., Keyburn, A. L., Denman, S. E., & Moore, R. J. (2012). Changes in the caecal microflora of chickens following *Clostridium perfringens* challenge to induce necrotic enteritis. *Veterinary Microbiology* 159(1-2), 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2012.03.032>
- Tona, K., Bruggeman, V., Onagbesan, O., Bamelis, F., Gbeassor, M., Mertens, K., & Decuyper, E. (2005). Day-old Chick Quality: Relationship to Hatching Egg Quality, Adequate Incubation Practice and Prediction of Broiler Performance. <https://doi.org/doi:10.3184/147020605783438787>
- Tougan, P. U., Dahouda, M., Folakè, C., Salifou, A., Gbênagnon, S., Ahounou, A., Kpodekon, M. T., Mensah, G. A., Thewis, A., Youssao, I., & Karim, A. (2013). Conversión of chicken muscle to meat and factors affecting chicken meat quality: a review *International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)*. <http://www.innspub.net>
- UNA. (2021). *Indicadores Económicos*. Consulta el 25 abril de 2023. Disponible en: <https://una.org.mx/indicadores-economicos/>
- Vargas-Rodríguez, L. M., Durán-Meléndez, L. A., García-Masías, J. A., Arcos-García, J. L., Joaquín-Torres, B. M., & Ruelas-Inzunza, M. G. (2013). Effect of probiotic and population density on the growth performance and carcass characteristics in broiler chickens. *International Journal of Poultry Science*, 12(7), 390–395. 10.3923/ijps.2013.390.395
- Vertiprakhov, V. G., Egorov, I. A., Andrianova, E. N., & Grozina, A. A. (2020). THE PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF THE SUPPLEMENTATION OF DIETS FOR BROILERS (*Gallus L.*) WITH DIFFERENT VEGETABLE OILS. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*, 55(6), 1159–1170. <https://doi.org/10.15389/AGROBIOLOGY.2020.6.1159ENG>
- Veterinaria Digital. (2021). Enfermedades víricas en pollos. Consulta el 14 marzo de 2023. Disponible en: <https://www.veterinariadigital.com/articulos/principales-enfermedades-viricas-en-pollos-de-engorde-en-los-estados-unidos/>
- Villanueva-Lopez, D. A., Infante-Rodríguez, F., Nájera-Pedraza, O. G., Barrios-García, H. B., & Salinas-Chavira, J. (2020). Effect of dietary frying fat, vegetable oil and calcium soaps of palm oil on the productive behavior and carcass yield of

- broiler chickens. *Revista Brasileira de Ciencia Avicola*, 22(4), 1–8.
<https://doi.org/10.1590/1806-9061-2020-1310>
- Wang, J., Wang, X., Li, J., Chen, Y., Yang, W., & Zhang, L. (2015). Effects of dietary coconut oil as a medium-chain fatty acid source on performance, carcass composition and serum lipids in male broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(2), 223–230. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0328>
- Waite, D. W., & Taylor, M. W. (2014). Characterizing the avian gut microbiota: Membership, driving influences, and potential function. *Frontiers in Microbiology* 5. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00223>
- Warner, C. M., Hahm, S.-W., Archibeque, S. L., Wagner, J. J., Engle, T. E., Roman-Muniz, I. N., Woerner, D., Sponsler, M., & Han, H. (2015). A comparison of supplemental calcium soap of palm fatty acids versus tallow in a corn-based finishing diet for feedlot steers. *Journal of Animal Science and Technology* 2015 57:1, 57(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/S40781-015-0053-5>
- Wei, S., Morrison, M., & Yu, Z. (2013). Bacterial census of poultry intestinal microbiome. *Poultry Science* 92(3), 671-683. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02822>
- Wu, Y., Huang, J., Quan, S., & Yang, Y. (2022). Light regimen on health and growth of broilers: an update review. In *Poultry Science* (Vol. 101, Issue 1). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101545>
- Wu, H., Gong, L. M., Guo, L., Zhang, L. Y., & Li, J. T. (2011). Effects of the free fatty acid content in yellow grease on performance, carcass characteristics, and serum lipids in broilers. *Poultry Science*, 90(9), 1992–1998. <https://doi.org/10.3382/PS.2010-01298>
- Yang, H., Xing, H., Wang, Z., Xia, J., Wan, Y., Hou, B., & Zhang, J. (2016). Effects of Intermittent Lighting on Broiler Growth Performance, Slaughter Performance, Serum Biochemical Parameters and Tibia Parameters. *https://Doi.Org/10.4081/Ijas.2015.4143*, 14(4), 684–689. <https://doi.org/10.4081/IJAS.2015.4143>
- Zampiga, M., Calini, F., & Sirri, F. (2021). Importance of feed efficiency for sustainable intensification of chicken meat production: implications and role for amino acids, feed enzymes and organic trace minerals. In *World's Poultry Science Journal* (Vol. 77, Issue 3, pp. 639–659). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/00439339.2021.1959277>
- ZOETIS MEXICO. (N.D). Newcastle Lasota. Consulta el 08 mayo de 2023. Disponible en: <https://www2.zoetis.mx/content/assets/PDF/Avicola-PDFs/AV-FT-NEWCASTLE-LASOTA-161121.pdf>