

Inulina de agave y aceite de orégano mejoran la productividad de pollos de engorda

Agave inulin and oregano oil improve broiler productivity

Niriél Sánchez-Zamora¹, Ramón Silva-Vázquez², Zayd Eliud Rangel-Nava¹, Carlos Alberto Hernández-Martínez¹, Jorge R. Kawas-Garza¹, Michael E. Hume³, Daniela Denise Herrera-Balandrano⁴, Gerardo Méndez-Zamora^{1*}

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía. Francisco I. Madero s/n, Ex Hacienda el Cañada, CP. 66050. General Escobedo, Nuevo León, México.

²Instituto Tecnológico de Parral. Avenida Tecnológico 57, Colonia Centro, CP. 33850. Hidalgo del Parral, Chihuahua, México.

³U.S. Department of Agriculture, Food and Feed Safety Research Unit, Southern Plains Agricultural Research Center, Agricultural Research Service, College Station, Texas, USA.

⁴Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas. Avenida Pedro de Alba s/n cruz con Avenida Manuel L. Barragán. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

*Autor de correspondencia: mezage@hotmail.com; gerardo.mendezzm@uanl.edu.mx

Artículo científico recibido: 21 de marzo de 2019 aceptado: 08 de agosto de 2019

RESUMEN. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la inulina de agave (IA) y aceite esencial de orégano Mexicano (AEOM) en el comportamiento productivo, variables de sacrificio y calidad de la carne de pollos de engorda. Un total de 330 pollos de engorda (1 día de edad) Ross-308 se asignaron de forma aleatoria a seis tratamientos con cinco repeticiones cada uno (11 pollos por corral): T1 = dieta control, T2 = dieta + 5.0 g kg⁻¹ IA, T3 = dieta + 10.0 g kg⁻¹ IA, T4 = dieta + 5.0 g kg⁻¹ IA + 0.2 g kg⁻¹ AEOM, T5 = dieta + 10.0 g kg⁻¹ IA + 0.2 g kg⁻¹ AEOM, y T6 = dieta + 0.2 g kg⁻¹ AEOM. Los pollos de T4 y T6 ($p < 0.05$) pesaron menos que T1, pero el consumo de alimento fue más alto en T2 (5.63 kg) y el más bajo en T6 (4.77 kg). El peso sacrificio y alas ($p < 0.05$) fueron más altos en T1 y más bajos en T5 y T4. La retención de agua, dureza y gomosidad ($p < 0.05$) fueron mayores en T3 (63.2%; 9.36 kg_f; 3204.9 g) y menores en T1 (56.98%; 7.28 kg_f; 2532.7 g), y el color amarillo fue más alto en T5 y más bajo en T3. La inulina de agave (10.0 g kg⁻¹) y el aceite de orégano (0.2 g kg⁻¹) pueden usarse en la engorda de pollos para mejorar la producción y calidad de la carne.

Palabras clave: Canal pollo, color carne, comportamiento productivo, rendimiento carne, textura carne.

ABSTRACT. The objective of this study was to evaluate the effect of agave inulin (AI) and Mexican oregano essential oil (MOEO) on the productive behavior, slaughter variables and quality of broiler meat. A total of 330, 1-day-old Ross-308 broilers were randomly assigned to six treatments with five replications each (11 chickens per pen): T1 = control diet, T2 = diet + 5.0 g kg⁻¹ AI, T3 = diet + 10.0 g kg⁻¹ AI, T4 = diet + 5.0 g kg⁻¹ AI + 0.2 g kg⁻¹ MOEO, T5 = diet + 10.0 g kg⁻¹ AI + 0.2 g kg⁻¹ MOEO, and T6 = diet + 0.2 g kg⁻¹ MOEO. Chickens in T4 and T5 ($p < 0.05$) weighed less than in T1, but feed consumption was higher in T2 (5.63 kg) and the lowest in T6 (4.77 kg). Sacrifice and wing weight ($p < 0.05$) were higher in T1 and lower in T5 and T4. Water retention, hardness and gomosity ($p < 0.05$) were higher in T3 (63.2%; 9.36 kg_f; 3204.9 g) and lower in T1 (56.98%; 7.28 kg_f; 2532.7 g), and the yellow color was higher in T5 and lower in T3. Agave inulin (10.0 g kg⁻¹) and oregano oil (0.2 g kg⁻¹) can be used in broilers to improve meat production and quality.

Key words: Chicken carcass, meat color, productive behavior, meat yield; meat texture.

INTRODUCCIÓN

La industria avícola es una actividad importante en México. De acuerdo con FAOSTAT (2019), en el 2017 se produjeron 109.06 millones

de toneladas de carne de pollo en el mundo, y 3.3 millones de toneladas en México (SIAP 2019). Para satisfacer la demanda actual de carne de pollo, el sistema de engorda intensivo es el más utilizado para su producción; pero en este sistema los pollos están ex-

puestos a diversos factores de estrés, que afectan su flora intestinal aumentando las bacterias patógenas y parásitos (Blajman *et al.* 2015). Además, el sistema inmune intestinal aviar está asociado con enfermedades de infección como coccidiosis y salmonelosis, que causan pérdidas en la industria de pollos de engorda (Huang *et al.* 2015).

Debido a esto, la suplementación con antibióticos ha sido ampliamente utilizada en las últimas décadas para mejorar los parámetros productivos, el control de enfermedades y la salud de las aves (Hernández-Coronado *et al.* 2019). Pero la utilidad de esta estrategia ha sido cuestionada por la aparición y propagación de bacterias resistentes a antibióticos en la carne (Blajman *et al.* 2015). La prohibición de los antibióticos en la engorda de pollos en muchos países se exige por los consumidores de carne sana y segura, lo que ha provocado interés de investigadores sobre estrategias o alternativas para mantener la salud, producción de carne de pollo y su calidad (Popova 2017). Recientes investigaciones han evaluado alternativas en las dietas de pollos de engorda para reemplazar el uso de antibióticos de manera natural, como probióticos (Olnood *et al.* 2015, Toghyani *et al.* 2015, Blajman *et al.* 2015, Mashayekhi *et al.* 2018), prebióticos (Hai-qing *et al.* 2015, Saenphoom *et al.* 2016), aceites esenciales derivados del orégano (Méndez-Zamora *et al.* 2017, Reyer *et al.* 2017, Silva-Vázquez *et al.* 2018, Cázares-Gallegos *et al.* 2019) y otros aceites esenciales (Chowdhury *et al.* 2018, Ipçak y Alçiçek 2018).

Dos opciones naturales como alternativas en la engorda de pollos son los prebióticos y los aceites esenciales de orégano (AEO), los cuales de acuerdo a Mohammadi-Gheisar y Kim (2018) son conocidos como aditivos fitogénicos alimentarios, que se pueden usar como alternativas de antibióticos. Los prebióticos son ingredientes alimenticios no digeribles que benefician al huésped, estimulando selectivamente el crecimiento y/o la actividad de una cantidad limitada de bacterias en el colon (Gibson y Roberfroid 1995, Patterson y Burkholder 2013). La inulina es un carbohidrato de reserva en la chicoria, cebolla, ajo y bananas (Buclaw 2016), considerada como una fibra dietética soluble prebiótica (Roberfroid

2007, Salazar *et al.* 2009), que por la configuración "β" ("1→2") de los enlaces fructosil-fructosa, resiste la digestión en el tracto gastrointestinal pero son fermentados en el colon (Gibson *et al.* 2004, Roberfroid 2005). El efecto de la inulina en aves, principalmente derivada de chicoria, ha sido estudiado en la microbiota intestinal, histomorfología, sistema inmune, metabolismo mineral y lipídico (Buclaw 2016), y particularmente en pollos de engorda se ha estudiado sobre el comportamiento productivo, inmunología, microbiota y morfología intestinal, características en hueso y digestibilidad (Huang *et al.* 2015, Peinado *et al.* 2013, Tako y Glahn 2012, Nabizadeh 2012). Otra opción en la engorda de pollos es la inulina derivada del Agave tequilana (inulina de agave, IA), cultivar importante en la agricultura Mexicana que se utiliza para la producción de tequila y fructanos puros y fructo-oligosacáridos (Praznik *et al.* 2013). Los agaves crecen en hábitats áridos y desarrollan procesos fotosintéticos adaptativos, el metabolismo ácido crasuláceas (CAM), que les permite consumir CO₂ eficientemente en la noche, siendo los fructanos un producto derivado de este proceso fotosintético (Apolinário *et al.* 2014).

Los aceites esenciales son sustancias líquidas de compuestos volátiles (Zhai *et al.* 2018), obtenidos de partes de plantas como flores, semillas, hojas o hierbas (Burt 2004). Los AEO provienen de la familia *Lamiaceae*; los cuales están constituidos por 80% de fenoles (timol y carvacrol), responsables de su actividad antioxidante y antibacteriana (Omonijo *et al.* 2018, Zhai *et al.* 2018). Siendo los más estudiados en pollos de engorda los de origen Europeo (*Origanum vulgare*) y el Mexicano (*Lippia berlandieri* Schauer, *Lippia graveolens* o *Lippia Palmeri*, y *Poliomintha longiflora* Gray), en las dietas (Méndez-Zamora *et al.* 2017, Reyer *et al.* 2017, Chowdhury *et al.* 2018, Silva-Vázquez *et al.* 2018, Cázares-Gallegos *et al.* 2019) y el agua de bebida (Gámez-Piñón *et al.* 2015, Hernández-Coronado *et al.* 2019) sobre el comportamiento productivo, morfología intestinal, salud, producción y calidad de la carne. Por lo que estas características de la inulina y el AEO pueden ser una opción en la engorda de pollos para mejorar la productividad y calidad de la carne. Por lo anterior, el

objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la inulina de agave (IA) y aceite esencial de orégano Mexicano (AEOM; *Lippia berlandieri* Schauer) sobre el comportamiento productivo, variables de sacrificio y calidad de la carne de pollos de engorda.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio y manejo de aves

La investigación se desarrolló en una nave convencional para pollos ubicada en el Campus Marín de la Facultad de Agronomía, de la Universidad Autónoma de Nuevo León. El campus está ubicado en el municipio de Marín, al noreste de Nuevo León, latitud de 25° 53' y LO -99° 02' (INEGI 2019). La nave tiene 90 m² y cuenta con piso de concreto, donde están ubicados tres bloques de diez corrales cada uno, para un total de 30 corrales utilizados. La dimensión de cada corral fue de 1.2 m ancho x 1.2 m largo x 0.8 m alto, cada uno con comedero, bebedero y viruta de madera. El cuidado y manejo de los pollos durante la investigación fue de acuerdo a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO (SE 1999).

Dietas y diseño experimental

Se utilizaron 330 pollos machos Ross-308 de 1 día de edad para el experimento durante 40 días. Los pollos se asignaron de forma aleatoria en seis tratamientos (dietas), distribuidos en cinco corrales (11 pollos por corral), donde la inulina de agave (IA) y el aceite esencial de orégano Mexicano (AEOM; *Lippia berlandieri* Schauer) se incorporaron en las dietas. Los tratamientos constaron de una dieta isoproteica e isoenergética basada en maíz molido y pasta de soya, formuladas de acuerdo con la NRC (1994) y suplementadas con 5.0 y 10.0 g kg⁻¹ de IA y 0.2 g kg⁻¹ de AEOM: T1 = dieta control (sin IA ni AEOM), T2 = dieta + 5.0 g kg⁻¹ IA, T3 = dieta + 10.0 g kg⁻¹ IA, T4 = dieta + 5.0 g kg⁻¹ IA + 0.2 g kg⁻¹ AEOM, T5 = dieta + 10.0 g kg⁻¹ IA + 0.2 g kg⁻¹ AEOM, y T6 = dieta + 0.2 g kg⁻¹ AEOM. La IA fue comercial (Enature[®]), mientras que el AEOM se adquirió en la empresa Natural Solutions SMI, siendo adicionados con la mezcla de los ingredientes menores y en el aceite vegetal de la dieta, respectiva-

mente. Las dietas de iniciación y finalización fueron de 1 a 21 días y de 22 a 40 días de edad, las cuales fueron usadas por Méndez-Zamora *et al.* (2017), Silva-Vázquez *et al.* (2018) y Cázares-Gallegos *et al.* (2019). El manejo de los pollos fue: 33 °C de 0 a 3 días, disminuyendo de forma gradual hasta tener una temperatura promedio de 28.0 °C al final del experimento. Mientras que el alimento y agua se ofrecieron *ad libitum*.

Comportamiento productivo

En el primer día de experimentación se determinó el peso inicial (PI, g) y consideró como covariable en el modelo estadístico para el análisis de los datos. Así mismo, el peso corporal de pollos (PP), consumo de alimento (CAL) y agua (CAG) se determinaron como variables productivas a los 40 días, para luego usarlas para determinar la ganancia de peso diaria (GPD, (PPactual - PPprevio) / días del periodo) y la eficiencia alimenticia (EAL, CAL/PP).

Variables de sacrificio y despiece

El proceso de sacrificio se realizó de acuerdo a la norma NOM-033-SAG/ZOO (SE 2014) y al procedimiento de Méndez-Zamora *et al.* (2015a); previo al sacrificio se retiró el alimento 12 h antes. De cada tratamiento se seleccionaron de forma aleatoria 25 pollos (5 por corral) y se sacrificaron a los 40 días. Para lo cual se noquearon los pollos y colocaron en ganchos especiales, para matarlos por un corte en el cuello y desangrados por 3 min aproximadamente. Luego se pasaron a un recipiente con agua caliente para el escaldado (62 ± 1.0 °C por 50-60 s) y después desplumaron de forma manual. Enseguida, la cabeza y patas se separaron, y el eviscerado se realizó de forma manual. Al final, las canales se lavaron y colocaron en una tina de enfriamiento (hielo y agua, 4.0 ± 1.0 °C, 10 min), removieron, escurrieron por 15 min y almacenaron a 4 ± 1.0 °C por 12 h. Las variables de sacrificio y el despiece se realizaron de acuerdo a los procedimientos establecidos por Méndez-Zamora *et al.* (2015a). El peso de sacrificio (PS) y peso de canal caliente (PCC) se registraron, y después de la refrigeración por 12 h post mortem, se determinó el peso de la canal

fría (PCF). El rendimiento (%) de la canal caliente (RCC) y fría (RCF) se calcularon en función del PS ((PCC o PCF/PS) × 100). El despiece se realizó en 25 canales por tratamiento y el rendimiento de la pechuga (RP), muslo (RM), pierna (RPi), alas (RA), cadera y espalda (RCE) se estimaron en función del PS (%Pieza = (Peso Pieza / PS) × 100).

Variables fisicoquímicas de la carne

Los análisis fisicoquímicos determinados fueron: pH, color, capacidad de retención de agua (CRA) y pérdida por cocción (%PC), en la carne de 10 pechugas de pollos seleccionadas de forma aleatoria de cada tratamiento (dos de cada corral). Estas variables se midieron por duplicado (una por cada lado de la pechuga). El pH en la carne se midió con un potenciómetro para carne HANNA (HI99163, Woonsocket RI, USA) en la parte interior del músculo *Pectoralis major*. Los parámetros de color luminosidad (L*), tendencia al rojo (a*), tendencia al amarillo (b*), Chroma (índice de saturación) y ángulo de Hue (tono) se midieron con un colorímetro CR-400 (Konica Minolta[®], Tokyo, Japón), basado en el sistema CIE Lab en la parte externa del *Pectoralis major*. La CRA en la carne se determinó por el método Tsai y Ockerman (1981) y Méndez-Zamora et al. (2015b) con aproximadamente 0.3 ± 0.1 g de pechuga que se colocó entre dos papeles filtro y puso entre dos placas plexiglás de acrílico (12 x 12 cm), aplicando una fuerza de 4.0 kg durante 20 min. Para luego calcular la CRA con la siguiente fórmula: CRA = 100 - (((Pi - Pf) / Pi) x 100); donde Pi es el peso inicial y Pf el peso final de la muestra. La %PC se obtuvo mediante la fórmula: %PC = ((peso crudo - peso cocido) / peso crudo) × 100, pesando la carne de la pechuga, empacada al vacío y cocinada a 75 ± 0.1 °C durante 1 h y 30 min por inmersión en agua caliente. Después las muestras se enfriaron por baño en agua a 4 °C por 20 min, para luego remover las piezas de las bolsas, escurrirlas y registrar el peso.

Análisis de textura de la carne

El análisis del perfil de textura (APT) y la fuerza de corte (FC) se realizaron por duplicado en 10 pechugas de cada tratamiento. Las pechugas se

deshuesaron, empacaron (Koch 800) en bolsas de vacío (Zubex Industrial), y después se cocieron en agua caliente a 75.0 ± 0.1 °C por 1 h. Posteriormente, las muestras se enfriaron en agua a 4.0 °C por 20 min. Finalmente, las muestras se almacenaron en refrigeración durante 12 h para su análisis a 4 °C con un analizador de textura (TA.XT.Plus, Stable Micro Systems Serrey). Para la FC se estandarizaron muestras rectangulares de la carne (1 cm ancho x 1 cm alto x 3.5 cm largo) y una navaja Warner-Bratzler con sección triangular invertida se utilizó para realizar la prueba. Las condiciones de velocidad pre-prueba de 2 mm s⁻¹, 2 mm s⁻¹ en prueba y 10 mm s⁻¹ post prueba, y distancia de 15 mm. El valor de FC se tomó del punto máximo de la curva obtenida con la prueba. Para el APT se utilizó un pistón cilíndrico de 75 mm de diámetro, para comprimir la muestra 60% de su altura original en dos ciclos, con un tiempo entre ciclo de 5 s. Para el acondicionamiento de las muestras se utilizó un sacabocados, obteniendo cilindros de 2.5 cm de diámetro y 1.5 cm de altura. Las condiciones establecidas para esta prueba fueron velocidad de 2.0 mm s⁻¹ pre-prueba, 5.0 mm s⁻¹ en prueba y 5.0 mm s⁻¹ post-prueba. Los siguientes parámetros se obtuvieron de acuerdo a Bourne (1978), Cazares-Gallegos et al. (2019) y Hernández-Coronado et al. (2019): dureza (D; Kg_f), adhesividad (Ad; g s⁻¹), elasticidad (El; mm), cohesividad (Co; adimensional), gomosidad (Gm; g), masticabilidad (Ma; g mm⁻¹) y resistencia (Re; adimensional).

Análisis estadístico de los datos

Los datos obtenidos de las variables productivas se analizaron con el procedimiento GLM de SAS (2006) con el siguiente modelo estadístico (Wang y Goonewardene 2004): $y_{ijk} = \mu + \tau_i + \phi_{k(ij)} + \lambda + \varepsilon_{ijk}$; donde: y_{ijk} = variables productivas medidas en todo el periodo; μ = media general; τ_i = efecto del i-esimo tratamiento (T1-T6); $\phi_{k(ij)}$ = efecto del i-esimo tratamiento anidado en cada corral donde el pollo estuvo durante el periodo de engorda; λ = efecto de la covariable PI; ε_{ijk} = error aleatorio distribuido en forma normal con media cero y varianza σ^2 [$\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$]. Las variables de sacrificio, despiece y calidad de la carne se analizaron por análisis de varianza,

con un modelo lineal general (GLM, SAS 2006); y un modelo estadístico $y_{ijk} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$; dónde: ε_{ij} = variables de sacrificio, despiece y fisicoquímicas; μ = media general; τ_i = efecto del i -ésimo tratamiento ε_{ij} = error aleatorio distribuido en forma normal con media y varianza [$\varepsilon_{ij} \sim N(\mu, \sigma^2)$]. Cuando la hipótesis nula se rechazó (H_0 , P-value < 0.05), la comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey para el comportamiento productivo, variables de sacrificio y calidad de la carne.

RESULTADOS

Comportamiento productivo

El comportamiento y eficiencia productiva de los pollos de engorda suplementados con inulina de agave (IA) y aceite esencial de orégano Mexicano (AEOM) durante 40 días se presentan en la Tabla 1. El PP y CAL fueron diferentes ($p < 0.05$) entre tratamientos, el PP fue más alto en el tratamiento T1 (control), seguido de T4 (5.0 g kg⁻¹ de IA + 0.2 g kg⁻¹ de AEOM) y T6 (0.2 g kg⁻¹ de AEOM), mientras que los tratamientos T2 (5 g kg⁻¹ de IA) y T5 (10 g kg⁻¹ de IA con 0.2 g kg⁻¹ de AEOM) tuvieron los valores más bajos. El CAL fue más alto en el tratamiento T2 y más bajo en el tratamiento T6. El CAG, GPD y EA no fueron diferentes ($p > 0.05$) en los tratamientos.

Variables de sacrificio y despiece

La Tabla 2 muestra las variables de sacrificio de los pollos de engorda suplementados con IA y AEOM a los 41 días. El PS y RA fueron diferentes ($p < 0.05$) entre tratamientos; el T1 tuvo los valores más altos en estas variables, mientras que T5 y T4 tuvieron los valores más bajos, respectivamente. El tratamiento T6 fue estadísticamente igual al tratamiento T1 para PS. Para el RCC, RCF, RP, RM, RP_i y RCE no se encontraron diferencias ($p > 0.05$) entre tratamientos.

Variables fisicoquímicas de la carne

Las variables CRA, b*, Chroma (saturación) y Hue (tono) fueron diferentes ($p < 0.05$) entre tratamientos (Tabla 3). La CRA fue más alta en el tratamiento T3 (10.0 g kg⁻¹ de IA) y más baja en

el tratamiento T2. Pero el tratamiento T5 tuvo los valores más altos para b*, Chroma y Hue, mientras que el tratamiento T3 presentó los valores más bajos en estas variables. Por otra parte, el pH, L* y a* no fueron diferentes ($p > 0.05$) entre tratamientos.

Análisis de textura de la carne

La PC y el análisis de textura se presentan en la Tabla 4. La dureza (D) y gomosidad (Gm) presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre tratamientos, siendo el T3 el que tuvo el valor más alto en las dos variables y el T1 el menor valor. En contraste, las variables PC, FC, Ad, EI, Co, Ma, y Re no fueron diferentes ($p > 0.05$) en los tratamientos evaluados.

DISCUSIÓN

Comportamiento productivo

Los estudios realizados en pollos de engorda suplementados con inulina en concentraciones de 5, 10, 15, 20 g kg⁻¹ de alimento reportan diferencias significativas (Peinado *et al.* 2013, Swiatkiewicz *et al.* 2014, Huang *et al.* 2015), mientras que en otros prebióticos como xilo-oligosacáridos a 0.025, 0.050, 0.075 y 0.1 g kg⁻¹ se reportan efectos para PP y CAL (Hai-qing *et al.* 2015), como ocurrió en el presente estudio con la IA. Estos mismos autores reportan que los efectos de la inulina en comportamiento productivo de pollos de engorda es inconsistente. Pero Huang *et al.* (2015) indican que la inulina entre 5 y 15 g kg⁻¹ tiene propiedades inmunomodulatorias que pueden mejorar la salud y el comportamiento productivo de los pollos. En este estudio, con 5 g kg⁻¹ de IA y 0.2 g kg⁻¹ de AEOM (T4) fue suficiente para mejorar el PP, lo que se relaciona con la mejora de la salud del pollo a nivel intestinal y por lo tanto la eficiencia en el uso de nutrientes. Aunque en el presente estudio no fueron obtenidas diferencias en EA, se puede indicar que el AEOM en 0.2 g kg⁻¹ (T6) mejoró el comportamiento productivo de los pollos al tener los menores valores de CAL y PP, valores que fueron diferentes estadísticamente del T1. Por su parte, Swiatkiewicz *et al.* (2014) mencionan la inulina tiene efecto positivo sobre la digestibilidad de

Tabla 1. Comportamiento productivo en pollos de engorda suplementados con inulina de agave y aceite de orégano en 40 días.

Tratamientos	Variable/días					
	PI (kg)	PP (kg)	CAL (kg)	CAG (kg)	GPD (kg)	EA
	1 día			40 días		
T1	0.0445	1.97 ^a	5.36 ^{ab}	8.62 ^a	0.0490 ^a	2.04 ^a
T2	0.0444	1.74 ^b	5.63 ^a	7.52 ^a	0.0433 ^a	2.26 ^a
T3	0.0450	1.78 ^{ab}	5.44 ^{ab}	8.32 ^a	0.0442 ^a	2.13 ^a
T4	0.0435	1.90 ^{ab}	5.50 ^a	7.96 ^a	0.0474 ^a	2.06 ^a
T5	0.0435	1.75 ^b	5.16 ^{ab}	8.21 ^a	0.0436 ^a	2.29 ^a
T6	0.0450	1.86 ^{ab}	4.77 ^b	7.89 ^a	0.0464 ^a	1.98 ^a
EEM	0.001	0.07	0.17	0.35	0.002	0.10
P-value	-	0.0126	0.0315	0.3429	0.0943	0.1037

T1 = dieta control; T2 = dieta + 5.0 g kg⁻¹ inulina de agave; T3 = dieta + 10.0 g kg⁻¹ inulina de agave; T4 = dieta + 5.0 g kg⁻¹ inulina de agave + 0.2 g kg⁻¹ aceite esencial de orégano; T5 = dieta + 10.0 g kg⁻¹ inulina de agave + 0.2 g kg⁻¹ aceite esencial de orégano; T6 = dieta + 0.2 g kg⁻¹ aceite esencial de orégano; EEM = error estándar de la media; PI = peso inicial; PP = peso pollos; CAL = consumo de alimento; CAG = consumo de agua; GPD = ganancia de peso diario; EA = eficiencia alimenticia.

^{a-b} Medias en columnas y con diferente superíndice son diferentes significativamente ($p < 0.05$).

Tabla 2. Variables de sacrificio en pollos de engorda suplementados con inulina de agave y aceite de orégano en 41 días.

Tratamientos	PS (kg)	Variables (%)						
		RCC	RCF	RP	RM	RPi	RA	RCE
T1	2.25 ^a	71.67 ^a	67.74 ^a	25.86 ^a	11.40 ^a	11.06 ^a	8.95 ^a	15.63 ^a
T2	1.89 ^b	71.57 ^a	70.16 ^a	23.96 ^a	11.18 ^a	10.52 ^a	8.17 ^{ab}	14.48 ^a
T3	1.99 ^b	69.91 ^a	69.17 ^a	25.42 ^a	11.45 ^a	10.31 ^a	7.87 ^b	13.81 ^a
T4	1.97 ^b	70.19 ^a	71.91 ^a	23.63 ^a	11.58 ^a	10.79 ^a	7.83 ^b	14.25 ^a
T5	1.87 ^b	69.30 ^a	68.73 ^a	25.00 ^a	11.52 ^a	10.28 ^a	7.91 ^b	13.82 ^a
T6	2.11 ^{ab}	71.79 ^a	70.32 ^a	23.75 ^a	12.82 ^a	10.41 ^a	7.95 ^b	14.13 ^a
EEM	0.06	1.09	1.97	0.95	0.59	0.33	0.23	0.45
P-value	0.0001	0.4441	0.7442	0.4299	0.4340	0.5074	0.0074	0.0543

T1 = dieta control; T2 = dieta + 5.0 g kg⁻¹ inulina de agave; T3 = dieta + 10.0 g kg⁻¹ inulina de agave; T4 = dieta + 5.0 g kg⁻¹ inulina de agave + 0.2 g kg⁻¹ aceite esencial de orégano; T5 = dieta + 10.0 g kg⁻¹ inulina de agave + 0.2 g kg⁻¹ aceite esencial de orégano; T6 = dieta + 0.2 g kg⁻¹ aceite esencial de orégano; EEM = error estándar de la media; PS = peso sacrificio; RCC = rendimiento canal caliente; RCF = rendimiento canal fría; RP = rendimiento pechuga; RM = rendimiento muslo; RPi = rendimiento pierna; RA = rendimiento ala; RCE = rendimiento cadera y espalda.

^{a-b} Medias en columnas y con diferente superíndice son diferentes significativamente ($p < 0.05$).

la materia seca, la materia orgánica y los extractos libres de nitrógeno, así como en la utilización de energía de la dieta, lo que promueve mayor ganancia de peso. Al respecto Hai-qing *et al.* (2015) indican que los xilo-oligosacáridos al llegar en la mucosa del intestino delgado promueven la absorción de nutrientes debido a las unidades xilosa (2-7). La IA tiene unidades de fructosa que pueden promover la absorción de los nutrientes de las dietas, lo que se refleja en el PP y CAL. También estudios previos con AEOM en pollos de engorda (Silva-Vázquez *et al.* 2018, Cázares-Gallegos *et al.* 2019, Hernández-Coronado *et al.* 2019) reportan mejoras en PP y CAL,

debido a que el AEOM mejora la palatabilidad de la dieta, estimula la secreción digestiva, circulación, propiedades antioxidantes, antimicrobianas y el estado inmune, por lo que se considera que el AEOM es un promotor de crecimiento natural, lo cual pudo impactar en que el tratamiento T6 tuviera el menor valor de CAL.

En relación a CAG, aunque no fue diferente entre tratamientos tuvo valores menores que los reportados por Silva-Vázquez *et al.* (2018) quienes evaluaron 0.4 g kg⁻¹ de AEOM durante 42 días, pero las diferencias en estos valores pueden deberse al periodo de engorda. Al respecto, Hai-qing *et al.*

Tabla 3. Variables fisicoquímicas en pollos de engorda suplementados con inulina de agave y aceite de orégano en 41 días.

Tratamientos	pH	CRA (%)	Parámetros de color				
			L*	a*	b*	Chroma	Hue
T1	5.88 ^a	56.98 ^b	67.84 ^a	10.69 ^a	12.23 ^{ab}	16.25 ^{ab}	48.73 ^{ab}
T2	5.82 ^a	58.04 ^{ab}	68.40 ^a	10.39 ^a	12.45 ^{ab}	16.28 ^{ab}	50.12 ^{ab}
T3	5.96 ^a	63.20 ^a	66.58 ^a	10.37 ^a	11.10 ^b	15.23 ^b	46.69 ^b
T4	5.81 ^a	59.31 ^{ab}	66.59 ^a	11.04 ^a	12.05 ^{ab}	16.35 ^{ab}	47.52 ^{ab}
T5	5.84 ^a	58.53 ^{ab}	66.53 ^a	10.70 ^a	13.54 ^a	17.38 ^a	51.64 ^a
T6	5.84 ^a	61.58 ^{ab}	66.49 ^a	10.34 ^a	12.18 ^{ab}	16.04 ^{ab}	49.21 ^{ab}
EEM	0.05	1.38	0.57	0.27	0.37	0.33	1.09
P-Value	0.3470	0.0177	0.0632	0.413	0.0008	0.0013	0.0262

T1 = dieta control; T2 = dieta + 5.0 g kg⁻¹ inulina de agave; T3 = dieta + 10.0 g kg⁻¹ inulina de agave; T4 = dieta + 5.0 g kg⁻¹ inulina de agave + 0.2 g kg⁻¹ aceite esencial de orégano; T5 = dieta + 10.0 g kg⁻¹ inulina de agave + 0.2 g kg⁻¹ aceite esencial de orégano; T6 = dieta + 0.2 g kg⁻¹ aceite esencial de orégano; EEM = error estándar de la media; pH = Potencial de hidrógeno; CRA = Capacidad de retención de agua; L* = luminosidad; a* = tendencia a rojo y verde; b* = amarillo y azul; Chroma = índice de saturación; Hue = ángulo de Hue (tono).

^{a-b} Medias (n = 20 por tratamiento) en columnas y con diferente superíndice son diferentes significativamente (p < 0.05).

Tabla 4. Variables de textura en pollos de engorda suplementados con inulina de agave y aceite de orégano en 41 días.

Tratamientos	PC (%)	Variables							
		FC (N)	D (kg _f)	Ad (g s ⁻¹)	El (mm)	Co	Gm (g)	Ma (g mm ⁻¹)	Re
T1	24.18 ^a	9.05 ^a	7.28 ^b	-17.49 ^a	0.57 ^a	0.35 ^a	2532.70 ^b	1447.80 ^a	0.13 ^a
T2	21.55 ^a	10.87 ^a	7.64 ^b	-15.07 ^a	0.54 ^a	0.33 ^a	2564.10 ^{ab}	1393.70 ^a	0.13 ^a
T3	20.41 ^a	9.72 ^a	9.36 ^a	-11.45 ^a	0.54 ^a	0.34 ^a	3204.90 ^a	1723.80 ^a	0.13 ^a
T4	27.96 ^a	8.75 ^a	8.43 ^{ab}	-16.37 ^a	0.54 ^a	0.33 ^a	2861.10 ^{ab}	1534.80 ^a	0.14 ^a
T5	20.34 ^a	9.24 ^a	8.22 ^{ab}	-25.65 ^a	0.54 ^a	0.36 ^a	2947.30 ^{ab}	1628.20 ^a	0.14 ^a
T6	18.46 ^a	10.99 ^a	8.80 ^{ab}	-20.25 ^a	0.55 ^a	0.33 ^a	2916.90 ^{ab}	1602.60 ^a	0.13 ^a
EEM	3.42	0.69	0.38	3.82	0.01	0.01	159.44	105.88	0.01
P-Value	0.4299	0.1016	0.0025	0.1640	0.4198	0.1963	0.0329	0.2604	0.5307

T1 = dieta control; T2 = dieta + 5.0 g kg⁻¹ inulina de agave; T3 = dieta + 10.0 g kg⁻¹ inulina de agave; T4 = dieta + 5.0 g kg⁻¹ inulina de agave + 0.2 g kg⁻¹ aceite esencial de orégano; T5 = dieta + 10.0 g kg⁻¹ inulina de agave + 0.2 g kg⁻¹ aceite esencial de orégano; T6 = dieta + 0.2 g kg⁻¹ aceite esencial de orégano; EEM = error estándar de la media; PC = pérdida por cocción; FC = fuerza de corte; D = dureza; Ad = adhesividad; El = elasticidad; Co = cohesividad; Gm = gomosis; Ma = masticabilidad; Re = resistencia.

^{a-b} Medias (n = 20 por tratamiento) en columnas y con diferente superíndice son diferentes significativamente (p < 0.05).

(2015) no reportan diferencias significativas (p > 0.05) en la conversión alimenticia entre sus tratamientos a pesar del incremento de inulina (0, 2.5, 5.0, 7.0 y 10.0 g kg⁻¹), pero el tratamiento con 10 g kg⁻¹ mostró el resultado más favorable. En el presente estudio, la EA no varió en los tratamientos con 5 (T2) y 10 g (T3) de inulina, no obstante el tratamiento T3 presentó mejor resultado que T2, por lo que la eficiencia productiva mejora con niveles altos de inulina. Los resultados obtenidos con 5 (T4) y 10 (T5) g kg⁻¹ de IA en combinación con 0.2 g kg⁻¹ de AEOM en la dieta indica que la EA mejora cuando es comparada con T1 y T6. Al respecto, Reyer *et al.* (2017) indican que la mezcla de aceites esenciales tiene efecto positivo en la conversión alimenticia y la digestibilidad

de nutrientes del tracto ileal y total, lo que beneficia la eficiencia productiva.

Variables de sacrificio y despiece

Méndez-Zamora *et al.* (2015a) y Hernández-Coronado *et al.* (2019) reportan resultados similares en PS con tratamientos de 0.4 g kg⁻¹ de AEOM, con incrementos en PS que puede deberse a la dosis de aceite. En este estudio 0.2 g kg⁻¹ de AEOM (T6) tuvo efecto benéfico en PS, comportamiento que se relaciona con el efecto del AEOM como promotor de crecimiento, el cual estimula la digestibilidad y mejora la absorción de los nutrimentos. Sobre lo mismo Silva-Vázquez *et al.* (2015) y Cázares-Gallegos *et al.* (2019) mencionan que el efecto como promotor de

crecimiento del AEOM, se debe a que el timol y carvacrol mejoran la actividad intestinal y la absorción de nutrientes. Al respecto, Reyer *et al.* (2017) indican que la presencia de saponinas afecta la permeabilidad de la membrana y el transporte celular de moléculas y macromoléculas, lo que mejora la absorción de nutrientes en el intestino delgado. Esto también implica un mejor rendimiento de la canal de pollos suplementados con AEOM, debido a la eficiencia del aprovechamiento del alimento en el intestino durante su metabolismo para la formación e integración de la fibra muscular. Lo que justifica que los tratamientos con AEOM tuvieron mejor rendimiento en canal fría y caliente que los tratamientos con inulina y el control. En un estudio previo en pollos de engorda suplementados con 0.4 y 0.8 g kg⁻¹ de AEOM durante 39 días, se reporta que el RA disminuye cuando la dosis de aceite aumenta, aunque resulta improbable la acumulación de los aceites esenciales debido a su rápido metabolismo para su conversión y excreción (Méndez-Zamora *et al.* 2015a). En tanto que Reyer *et al.* (2017) indican que los aditivos fitogénicos afectan el balance del metabolismo de carbohidratos y lípidos, por lo que podría asumirse la deposición de las moléculas de aceites esenciales en algunos tejidos. El carvacrol y timol presentes en el AEOM y la IA pueden influir el rendimiento de algunas piezas debido al cambio en el metabolismo de los tejidos, como estimular la división celular de las miofibrillas.

Variables fisicoquímicas de la carne

Hai-qing *et al.* (2015) en su estudio de pollos de engorda suplementados con xilo-oligosacáridos (XOS) señalan que la adición de 10 g kg⁻¹ de XOS mejora la CRA del músculo, ya que en mayor cantidad de XOS la pechuga tiene menor pérdida por goteo. En relación a esto, en este estudio la pechuga de pollos con la dosis de inulina de agave (10 g kg⁻¹, T3) obtuvo mayor CRA, lo que se puede relacionar con el incremento de la capacidad antioxidante inducida por los prebióticos. Sin embargo, los mecanismos del efecto de la IA y los AEOM siguen sin estar claros y es necesario seguir estudiándose. Al respecto, Méndez-Zamora *et al.* (2015b) y Cázares-Gallegos *et al.* (2019) en estudios de pollos suplementados con

0.4 y 0.8 y 0.2 a 1.0 g kg⁻¹ de AEOM, respectivamente; indican que la mayor concentración de aceite incrementa la CRA, aunque la independencia entre el pH y CRA puede deberse a que el pH obtenido no se aproxima al pH del punto isoeléctrico de la proteína miosina (5.4), que produce una retracción de las fibrillas y reducción en la CRA. Los resultados del presente estudio indican que entre más cantidad de IA y 0.2 g kg⁻¹ de AEOM se tiene una mejor CRA, pero este comportamiento no es favorable cuando estos aditivos son combinados en la misma dieta. En cuanto a color, Hai-qing *et al.* (2015) obtuvieron resultados similares en b* para 5 y 10 g kg⁻¹ de prebiótico, como ocurrió en el presente estudio con 10 g kg⁻¹ de IA + 0.2 g kg⁻¹ de AEOM (T5) y con 5 g kg⁻¹ de IA (T2). Por otro lado, Méndez-Zamora *et al.* (2015b) y Cázares-Gallegos *et al.* (2019) encontraron que el valor de b* incrementaba en dosis altas de AEOM; lo que podría explicar por qué el tratamiento con 10 g kg⁻¹ de IA + 0.2 g kg⁻¹ de AEOM (T5) tuvo el valor más alto en b*, lo que se puede deber al contenido de carotenoides del AEOM (Cázares-Gallegos *et al.* 2019, Hernández-Coronado *et al.* 2019). Razón por lo que la saturación (Chroma) y tono (H) de la carne fueron más altos para el tratamiento T5.

Análisis de textura de la carne

Pocos estudios reportan análisis de textura en la carne de pechuga de pollo suplementados con aceites esenciales de plantas (Park *et al.* 2014, Cázares-Gallegos *et al.* 2019, Hernández-Coronado *et al.* 2019), y mucho menos con inulina de agave. Por lo que el presente estudio es un primer acercamiento al análisis de textura de la carne de pollo suplementados con IA combinada con AEOM. Al respecto, Hai-qing *et al.* (2015) en un estudio con XOS mencionan que el contenido de humedad es importante en la estructura física de la carne; por lo que la mayor dureza del tratamiento T3 (10 g kg⁻¹ IA) fue por su mayor CRA, es decir la retención del agua ligada incrementa con la IA, así como del AEOM. Por otro lado, Park *et al.* (2014) señalan que utilizar dosis de 0.2 g kg⁻¹, 0.4 g kg⁻¹ y 0.6 g kg⁻¹ de extractos de plantas incrementan la dureza, cohesividad y resistencia de la carne. La mayor dureza la tuvieron los

tratamientos T3 y T6. Lo que coincide con Cázares-Gallegos *et al.* (2019) quienes reportan resultados similares de dureza con 0.2 g kg^{-1} de AEOM, pero contrastan en gomosidad, lo que pudiera deberse a los aditivos evaluados en el presente estudio (IA y AEOM) afectan el nivel de integridad y estructura de la miofibrilla en función de las moléculas de agua y deposición de grasa en la fibra muscular. Para Co y Re, Hernández-Coronado *et al.* (2019) reportan valores diferentes en tratamientos con AEOM en el agua de bebida, pero señalaron que la textura de la carne de la pechuga está en función de la estructura de la fibra muscular y el contenido de agua, así como el posible efecto restrictivo del AEOM en el metabolismo *ante-mortem* que previene un mayor daño en las proteínas miofibrilares y la estructura de la carne cuando el pH disminuye durante el proceso de conversión de músculo a carne. Esto es atribuible en los tratamientos T2 a T6, ya que mejoraron las variables de textura respecto al tratamiento T1 (control), como consecuencia de un efecto a nivel

metabólico, que se refleja en la textura de la carne de la pechuga de pollo.

CONCLUSIONES

La inulina de agave (5.0 g kg^{-1}) y el aceite esencial de orégano (0.2 g kg^{-1}) pueden considerarse como aditivos benéficos en el desempeño del comportamiento productivo de los pollos, así como en variables de calidad en la canal (color amarillo, tono y saturación). La inulina de agave en 10 g kg^{-1} mejora la capacidad de retención de agua y dureza, pero no contribuye al peso durante el periodo de engorda ni el peso de sacrificio. El aceite de orégano en 0.2 g kg^{-1} mejora el peso de sacrificio, capacidad de retención de agua y dureza, mientras que en el rendimiento de piezas no mostró ser eficiente. Se recomienda realizar otros estudios en pollos de engorda donde las concentraciones de inulina de agave en las dietas sean evaluadas individualmente sin ser combinadas con aceite de orégano.

LITERATURA CITADA

- Apolinário AC, de Lima Damasceno BPG, de Macêdo-Beltrão NE, Pessoa A, Converti A, da Silva JA (2014) Inulin-type fructans: A review on different aspects of biochemical and pharmaceutical technology. *Carbohydrate Polymers* 101: 368-378.
- Blajman JE, Zbrun MV, Astesana DM, Berisvil AP, Scharpen AR, Fursari ML, *et al.* (2015) Probiotics in broilers' rearing: A strategy for intensive production models. *Revista Argentina de Microbiología* 47: 360-367.
- Bourne MC (1978) Texture profile analysis. *Food Technology* 32: 62-66.
- Buław M (2016) The use of inulin in poultry feeding: a review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 100: 1015-1022.
- Burt S (2004) Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods-a review. *International Journal of Food Microbiology* 94: 223-253.
- Cázares-Gallegos R, Silva-Vázquez R, Hernández-Martínez CA, Gutiérrez-Soto JG, Kawas-Garza JR, Hume ME, *et al.* (2019) Performance, carcass variables, and meat quality in broilers supplemented with dietary Mexican oregano oil. *Brazilian Journal of Poultry Science* 21: 1-10.
- Chowdhury S, Mandal GP, Patra AK (2018) Different essential oils in diets of chickens: 1. Growth performance, nutrient utilisation, nitrogen excretion, carcass traits and chemical composition of meat. *Animal Feed Science and Technology* 236: 86-97.
- FAOSTAT (2019) Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL>. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2019.

- Gámez-Piñón J, Rentería-Monterrubio AL, Durán-Meléndez LA, Chávez-Martínez A, Alarcón-Rojo AD, Aguilar-Palma NG, *et al.* (2015) Efecto del aceite esencial de orégano en el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la carne de pollo. *Investigación y Ciencia* 23: 5-11.
- Gibson GR, Probert HM, Loo JV, Rastall RA, Roberfroid MB (2004) Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. *Nutrition Research Reviews* 17: 259-275.
- Gibson GR, Roberfroid MB (1995) Dietary modulation of the human colonic microbiota: Introducing the concept of prebiotics. *The Journal of Nutrition* 125: 1401-1412.
- Hai-qing S, Lin L, Guo-hui X, Lin X, Xiao-gang C, Rui-rui X, *et al.* (2015) Effectiveness of dietary xylo-oligosaccharides for broilers fed a conventional corn-soybean meal diet. *Journal of Integrative Agriculture* 14: 2050-2057.
- Hernández-Coronado AC, Silva-Vázquez R, Rangel-Nava ZE, Hernández-Martínez CA, Kawas-Garza JR, Hume ME, Méndez-Zamora G (2019) Mexican oregano essential oils given in drinking water on performance, carcass traits, and meat quality of broilers. *Poultry Science* 98: 3050-3058.
- Huang Q, Wei Y, Lv Y, Wang Y, Hu T (2015) Effect of dietary inulin supplements on growth performance and intestinal immunological parameters of broilers chickens. *Livestock Science* 180: 172-176.
- INEGI (2019) Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México en Cifras. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/#>. Fecha de consulta: 9 de agosto de 2019.
- Ipçak HH, Alçiçek A (2018) Addition of capsicum oleoresin, carvacrol, cinnamaldehyde and their mixtures to the broiler diet ii: effects on meat quality. *Journal of Animal Science and Technology* 60: 9. Doi: 10.1186/s40781-018-0165-9.
- Mashayekhi H, Mazhari M, Esmaeilipour O (2018) Eucalyptus leaves powder, antibiotic and probiotic addition to broiler diets: effect on growth performance, immune response, blood components and carcass traits. *Animal* 18: 1-7.
- Méndez-Zamora G, Durán-Meléndez LA, Hume ME, Silva-Vázquez R (2017) Performance, blood parameters, and carcass yield of broiler chickens supplemented with Mexican oregano oil. *Revista Brasileira de Zootecnia* 46: 515-520.
- Méndez-Zamora G, García-Macías JA, Durán-Meléndez LA, Herman-Lara H, Santellano Estrada E, Silva-Vazquez R (2015a) Aceite esencial de orégano (*Lippia berlandieri* Schauer) en variables de calidad de la canal de pollo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2: 41-51.
- Méndez-Zamora G, García-Macías JA, Santellano-Estrada E, Durán-Meléndez LA, Silva-Vazquez R (2015b) Aceite de orégano sobre la calidad de pechuga de pollos de engorda. *Investigación y Ciencia* 65: 5-12.
- Mohammadi Gheisar M, Kim IH (2018) Phytobiotics in poultry and swine nutrition-a review. *Italian Journal of Animal Science* 17: 92-99.
- Nabizadeh A (2012) The effect of inulin on broiler chicken intestinal microflora, gut morphology, and performance. *Journal of Animal and Feed Sciences* 21: 725-734.
- NRC (1994) Nutritional requirements of poultry. 9th ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC. USA. 176p.
- Olnood CG, Beski SSM, Iji PA, Choct M (2015) Delivery routes for probiotics: Effects on broiler performance, intestinal morphology and gut microflora. *Animal Nutrition* 1: 192-202.
- Omonijo FA, Ni L, Gong J, Wang Q, Lahaye L, Yang C (2018) Essential oils as alternatives to antibiotics in swine production. *Animal Nutrition* 4: 126-136.

- Park JH, Kang SN, Chu GM, Jin SK (2014) Growth performance, blood cell profiles, and meat quality properties of broilers fed with *Saposhnikovia divaricata*, *Lonicera japonica*, and *Chelidonium majus* extracts. *Livestock Science* 165: 87-94.
- Patterson JA, Burkholder KM (2003) Application of prebiotics and probiotics in poultry production. *Poultry Science* 82: 627-631.
- Peinado MJ, Echávarri A, Ruiz R, Suárez-Pereira E, Ortiz Mellet C, García Fernández JM, Rubio LA (2013) Effects of inulin and di-D-fructose dianhydride-enriched caramels on intestinal microbiota composition and performance of broiler chickens. *Animal* 7: 1779-1788.
- Popova T (2017) Effect of probiotics in poultry for improving meat quality. *Current Opinion in Food Science* 14: 72-77.
- Praznik W, Löppert R, Cruz Rubio JM, Zangger K, Huber A (2013) Structure of fructo-oligosaccharides from leaves and stem of *Agave tequilana* Weber, var. azul. *Carbohydrate Research* 381: 64-73.
- Reyer H, Zentek J, Männer K, Youssef IMI, Aumiller T, Weghuber J, et al. (2017) Possible molecular mechanisms by which an essential oil blend from star anise, rosemary, thyme, and oregano and saponins increase the performance and ileal protein digestibility of growing broilers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65: 6821-6830.
- Roberfroid M (2007) Prebiotics: The concept revisited. *The Journal of Nutrition* 137: 830S-837S.
- Roberfroid MB (2005) Introducing inulin-type fructans. *British Journal of Nutrition* 93: S13-S25.
- Saenphoom P, Chimtong S, Phiphatkitphaisan S, Somsri S (2016) Improvement of taro leaves using pre-treated enzyme as prebiotics in animal feed. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 11: 65-70.
- Salazar P, García ML, Selgas MD (2009) Short-chain fructooligosaccharides as potential functional ingredient in dry fermented sausages with different fat levels. *International Journal of Food Science & Technology* 44: 1100-1107.
- SAS (2006) SAS/STAT user's guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 2611p.
- SE (2014) NOM-033- SAG/ZOO-2014 Norma Oficial Mexicana. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. <http://www.economia-noms.gob.mx/noms/consultasAction.do>. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2019.
- SE (1999) NOM-062-ZOO-1999 Norma oficial Mexicana, especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio. <http://www.economia-noms.gob.mx/noms/consultasAction.do>. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2019.
- SIAP (2019) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2019.
- Silva-Vázquez R, Durán Meléndez LA, Santellano Estrada E, Rodríguez Muela C, Villalobos Villalobos G, Méndez Zamora G, Hume ME (2015) Performance of broiler chickens supplemented with Mexican oregano oil (*Lippia berlandieri* Schauer). *Revista Brasileira de Zootecnia* 44: 283-289.
- Silva-Vázquez R, Duran-Meléndez LA, Hernández-Martínez CA, Gutiérrez-Soto JG, Hume ME, Méndez-Zamora G (2018) Effects of two sources of Mexican oregano oil on performance, blood profile, carcass variables, and meat of broilers. *Revista Brasileira de Zootecnia* 47:e20170198. Doi: 10.1590/rbz4720170198.
- Swiatkiewicz S, Arczewska-Wlosek A, Jozefiak D (2014) Feed enzymes, probiotic, or chitosan can improve the nutritional efficacy of broiler chicken diets containing a high level of distillers dried grains with solubles. *Livestock Science* 163: 110-119.

- Tako E, Glahn RP (2012) Intra-amniotic administration and dietary inulin affect the iron status and intestinal functionality of iron-deficient broiler chickens. *Poultry Science* 91: 1361-1370.
- Toghyani M, Mosavi S, Modaresi M, Landy N (2015) Evaluation of kefir as a potential probiotic on growth performance, serum biochemistry and immune responses in broiler chicks. *Animal Nutrition* 1: 305-309.
- Tsai TC, Ockerman HW (1981) Water binding measurement of meat. *Journal of Food Science* 46: 697-701.
- Wang Z, Goonewardene LA (2004) The use of MIXED models in the analysis of animal experiments with repeated measures data. *Canadian Journal of Animal Science* 84: 1-12.
- Zhai H, Liu H, Wang S, Wu J, Klünter AM (2018) Potential of essential oils for poultry and pigs. *Animal Nutrition* 4: 179-186.