

SEMILLA DE LINAZA (*Linum usitatissimum*) EN DIETAS DE CERDOS PARA MODIFICAR LA COMPOSICIÓN LIPÍDICA DE LA CARNE

FLAXSEED (*Linum usitatissimum*) IN PIG DIETS TO MODIFY THE LIPID COMPOSITION OF MEAT

Eutiquio **Soni-Guillermo**¹, José L. **Figuerola-Velasco**^{1*}, María T. **Sánchez-Torres**¹, José A. **Martínez-Aispuro**¹,
José L. **Cordero-Mora**¹, Aleida S. **Hernández-Cázares**², José Ma. F. **Copado-Bueno**³

¹Programa de Ganadería, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. (jfiguerola@colpos.mx). ²Campus Córdoba, Colegio de Postgraduados. 94946. Km. 348 Carretera Federal Córdoba-Veracruz, Congregación Manuel León, Municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. ³Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Texcoco, Estado de México, México.

RESUMEN

La semilla de linaza (*Linum usitatissimum*) tiene alta concentración de ácidos grasos (AG) omega 3, los cuales, al ser incorporados a las dietas de cerdos en engorda pueden mejorar la composición lipídica de la carne. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la concentración de semillas de linaza en la respuesta productiva de cerdos en finalización, perfil de AG, características de la canal y propiedades fisicoquímicas de la carne. Los tratamientos fueron seis concentraciones (0, 2, 4, 6, 8 y 10 % BS) de linaza molida. Las unidades experimentales fueron 48 cerdos machos castrados, híbridos (Landrace×Yorkshire×Pietrain) con peso inicial de 50.00±5.00 kg, evaluados durante ocho semanas y en dos etapas: de 50-75 y 75-100 kg de PV. El diseño experimental fue completamente al azar con ocho repeticiones por tratamiento. Con los datos obtenidos se realizó un ANDEVA mediante el procedimiento GLM de SAS y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). La inclusión de 2 % de semillas de linaza en la dieta de cerdos no tuvo un efecto adverso ($p > 0.05$) en las variables productivas y en las características de la canal. Las características fisicoquímicas, el perfil de AG saturados y monoinsaturados en la carne no fueron afectados ($p > 0.05$) por la concentración de linaza. El contenido de AG poliinsaturados omega-3 (Ω -3) aumentó en la pierna y lomo al incrementar la cantidad de linaza en la dieta ($p \leq 0.05$). El uso de 2 % de semillas de linaza en dietas para cerdos incrementa el contenido de AG Ω -3 en

ABSTRACT

Flaxseed (*Linum usitatissimum*) has a high concentration of omega-3 (Ω -3) fatty acids (FA) which —when they are incorporated into pig fattening diets— can improve the lipid composition of meat. The objective of this study was to evaluate the effect of ground flaxseeds concentration on productive performance, FA profiles, carcass characteristics, and physicochemical properties of meat of finishing pigs. Treatments were six ground flaxseeds concentrations (0, 2, 4, 6, 8 and 10 % DM). The experimental units were 48 hybrid (Landrace×Yorkshire×Pietrain) barrows, with 50.00±5.00 kg initial body weight, used for eight weeks, divided in two stages: from 50 to 75 and from 75 to 100 kg body weight (BW). The experimental design was completely randomized, with eight replicates per treatment. An ANOVA analysis was carried out using GLM procedure of SAS and the Tukey test ($p \leq 0.05$) was used to compare treatment means ($p \leq 0.05$). Regarding productive performance and carcass characteristics variables, including 2 % of flaxseeds on the pigs' diet did not have a negative effect ($p > 0.05$). Physicochemical characteristics, saturated and mono unsaturated fatty acids of meat were not changed by flaxseeds concentration ($p > 0.05$). The Ω -3 polyunsaturated FA content increased in pork ham and loin as the amount of flaxseeds increased in the diet ($p \leq 0.05$). Adding 2 % of flaxseeds on pig diets increases Ω -3 FA content in meat without affecting productive performance, carcass characteristics and physicochemical properties of meat.

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: junio, 2016. Aprobado: abril, 2017.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 51: 709-724. 2017.

Key words: productive performance, carcass characteristics, α -linolenic.

la carne, sin afectar las variables productivas, las características de la canal y propiedades fisicoquímicas de la carne.

Palabras clave: respuesta productiva, características de la canal, α -linolénico.

INTRODUCCIÓN

El incremento de ácidos grasos (AG) omega-3 (Ω -3) en la carne mediante su incorporación en dietas de especies pecuarias, puede resultar benéfico en la salud de los consumidores que ingieren este tipo de productos. Esto se debe a que el consumo de Ω -3 está relacionado con reducción de enfermedades cardiovasculares (Masood *et al.*, 2005), mantenimiento e integridad de las membranas celulares (Valenzuela *et al.*, 2011).

En cerdos, el consumo de semillas con alto contenido de AG Ω -3 (Matthäus *et al.*, 2003) puede ser una opción para aumentar la concentración de estos AG en su carne. La semilla de linaza (*Linum usitatissimum*) es una fuente vegetal rica en ácido α -linolénico (Ω -3), y al incorporarla a dietas para cerdos aumenta la cantidad de ácido linolénico en la carne (Skiba *et al.*, 2015). Lo anterior es una alternativa viable, debido a que el uso de fuentes de AG Ω -3 de origen marino, como el aceite de pescado, pueden generar olores y sabores desagradables y deterioran la calidad de la carne (Tseng *et al.*, 2000). Además, el aumento de AG Ω -3 en la carne de cerdo a través de la inclusión de semillas de linaza en la dieta puede adquirir un valor agregado porque contiene compuestos que favorecen a la salud humana y, por lo tanto, se clasificará como alimento funcional (Aguilar-Guggembuhl *et al.*, 2014).

El uso de bajas cantidades de linaza en la alimentación de los cerdos mejora aspectos relacionados con la calidad y rendimiento de la canal (Huang *et al.*, 2008; Eastwood *et al.*, 2009) sin disminuir la estabilidad oxidativa, ni afectar el color y el sabor de la carne (Corino *et al.*, 2008). Más aún, la respuesta productiva no es afectada al usar menos de 5 % de aceite (Skiba *et al.*, 2015) y 3 % de harina de linaza (Haak *et al.*, 2008) en las dietas de cerdos en finalización. Sin embargo, el uso de semillas entera de linaza es más práctico que el aceite de linaza, porque tiene antioxidantes que disminuyen el proceso de oxidación de los AG poliinsaturados (Cunnane *et al.*, 1990). Sin embargo la inclusión de

INTRODUCTION

Increasing Omega-3 (Ω -3) FA on meat —by including it on the diet of livestock species— can be beneficial for the consumers' health, because Ω -3 consumption is related to the decrease of cardiovascular diseases (Masood *et al.*, 2005) and cell membrane maintenance and integrity (Valenzuela *et al.*, 2011).

Feeding pigs seeds with high Ω -3 FA content (Matthäus *et al.*, 2003) can be an option to increase the concentration of these FA on their meat. Flaxseed (*Linum usitatissimum*) is a rich source of α -linolenic acid (Ω -3), and adding it to pig diets increases the amount of linolenic acid in meat (Skiba *et al.*, 2015). Therefore, it is a viable alternative, because using marine sources generates unpleasant odors and flavors, thus deteriorating the meat quality (Tseng *et al.*, 2000). Additionally, increasing Ω -3 FA in pork meat —by adding flaxseeds to their diet— adds value to the meat, because those FA contribute to human health; therefore, it will be classified as functional food (Aguilar-Guggembuhl *et al.*, 2014).

Using low amounts of flaxseeds on pig diets improves the quality and carcass yield (Huang *et al.*, 2008; Eastwood *et al.*, 2009), without diminishing oxidative stability or changing the color and flavor of the meat (Corino *et al.*, 2008). Additionally, productive performance does not change when less than 5 % of flaxseed oil (Skiba *et al.*, 2015) and 3 % of flaxseed flour (Haak *et al.*, 2008) are included in the diet of finishing pigs. However, using whole flaxseeds is more practical than flaxseed oil, due to their antioxidant content, which diminishes the oxidation process of polyunsaturated FA (Cunnane *et al.*, 1990). Nevertheless, including inadequate flaxseeds concentrations into finishing pig diets can have adverse effects on sensory characteristics, due to the high susceptibility to oxidation of Ω -3 FA (Lyberg *et al.*, 2005). Including flaxseeds on finishing pig diets has had inconsistent results; concentrations from 0.5 to 10.0 % were evaluated (Huang *et al.*, 2008; Eastwood *et al.*, 2009; and Karolyi *et al.*, 2012), but so far it is not known which is the adequate concentration that would increase Ω -3 FA content in the meat without changing productive performance, carcass characteristics and meat quality. Additionally, only a few studies

concentraciones inadecuadas de semillas de linaza en dietas para cerdos en finalización puede tener efectos adversos en las características sensoriales, debido a la alta susceptibilidad de los AG Ω -3 a la oxidación (Lyberg *et al.*, 2005). Los resultados de la inclusión de semillas de linaza a dietas para cerdos en finalización han sido inconsistentes; se han evaluado concentraciones entre 0.5 y 10.0 % (Huang *et al.*, 2008; Eastwood *et al.*, 2009; Karolyi *et al.*, 2012), pero no se ha determinado cual es la concentración adecuada para aumentar el contenido de AG Ω -3 en la carne, sin afectar la productividad, las características de la canal y la calidad de la carne. Además, pocos estudios indican la ganancia de peso y el consumo de alimento (Corino *et al.*, 2014).

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar la concentración máxima de inclusión de semillas molidas de linaza en dietas para cerdos en finalización, sin afectar la respuesta productiva, la concentración de urea en plasma, el perfil de AG, las características de la canal y las propiedades fisicoquímicas de la carne.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Texcoco, Estado de México (98° 48' 27" O, 19° 48' 23" N, y 2241 m de altitud). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 15.2 °C y precipitación media anual de 644.8 mm (García, 1988).

Los tratamientos fueron seis niveles de semillas de linaza molida (% BS): T1, testigo sin linaza; T2, 2 %; T3, 4 %; T4, 6 %; T5, 8 %; T6, 10 %, en dietas para cerdos en finalización; el estudio se dividió en dos etapas experimentales: una de 50-75 y otra de 75-100 kg de peso vivo (PV). Las unidades experimentales fueron 48 cerdos (machos castrados) híbridos (Landrace×Yorkshire×Duroc), con PV inicial (PVI) promedio de 50.00±5.00 kg. Los cerdos se alojaron en corrales individuales equipados con comedero tipo tolva y bebedero de chupón. El alimento y el agua se ofrecieron a libre acceso. El periodo de evaluación duró ocho semanas. Las dietas se formularon con el comando *Solver* (Microsoft Excel, 2007), de acuerdo con los requerimientos del NRC (2012) para las dos etapas experimentales (Cuadros 1 y 2). En la dieta de cerdos de 75 a 100 kg de PV se adicionó ractopamina (10 mg kg⁻¹ MS) en todos los tratamientos, considerando los requerimientos de nutrientes recomendados por el NRC (2012) cuando se usa dicho aditivo.

indicate weight gain and feed intake (Corino *et al.*, 2014).

Therefore, the objective of this research was to determine the maximum concentration of ground flaxseeds that can be included in the diets of finishing pigs without changing productive performance, plasma urea concentration, FA profile and the physicochemical properties of meat.

MATERIALS AND METHODS

This study conducted at the Pigs Unit of the Experimental Farm of Colegio de Postgraduados, in Montecillo, Texcoco, Estado de Mexico (98° 48' 27" W, 19° 48' 23" N; 2241 m altitude). Local climate is temperate-subhumid; it rains during summer; the average annual temperature is 15.2 °C, and the average annual precipitation is 644.8 mm (García, 1988).

Treatments were six levels of ground flaxseeds (% DM) in the diet for finishing pigs: T1 (control, without flaxseeds), T2 (2 %), T3 (4 %), T4 (6 %), T5 (8 %) and T6 (10 %). The study was divided in two experimental stages: one from 50 to 75; and the other from 75 to 100 kg of live weight. The experimental units were 48 hybrid (Landrace×Yorkshire×Duroc) barrows, with an initial average body weight (iBW) of 50.00±5.00 kg. The pigs were settled in individual pens, equipped with hopper feeders and nipple drinkers. Pigs had free access to feed and water. The evaluation period lasted eight weeks. Diets were formulated using the *Solver* command (Microsoft Excel, 2007), according to the requirements of NRC (2012) for both experimental stages (Tables 1 and 2). On the diet for 75 to 100 kg pigs, ractopamine was added (10 mg kg⁻¹ MS) to all treatments, taking into account nutrient requirements NRC (2012) recommendations when this additive is used.

Productive variables and carcass characteristics

The variables were: productive performance (feed intake, FI; average daily gain, ADG; feed:gain ratio, FGR; fat free lean gain, FFLG; and final body weight, fBW; carcass characteristics (backfat thickness, BT; lean meat percentage, LMP (for second stage); *Longissimus dorsi* muscle area, LMA; and plasma urea nitrogen concentration, PUN).

The BT and LMA were measured at the lumbar region in the penultimate rib, using a real-time ultrasound (SonoVet 600, Medison, Inc., Cypress, California, USA) at the beginning and at the end of each stage. Based on this data—as well as the iBW and fBW data—, FFLG and LMP were calculated, using the National Pork Producers Council (1991) equation.

Cuadro 1. Dietas experimentales para cerdos en finalización (50-75 kg PV).
Table 1. Experimental diets for finishing pigs (50-75 kg PV).

Ingrediente (%)	T ^p 1	T2	T3	T4	T5	T6
Sorgo	79.71	77.25	76.38	75.50	74.63	73.76
Pasta de soya	15.03	15.82	15.03	14.24	13.44	12.65
Aceite de soya	2.25	1.96	1.63	1.30	0.97	0.89
Semillas de linaza molida	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
Carbonato de calcio	0.92	0.91	0.90	0.89	0.87	0.86
Ortofosfato de calcio	0.89	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89
Vitaminas y minerales [†] y [‡]	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Biolys [§]	0.46	0.43	0.44	0.44	0.45	0.46
DL-Metionina	0.11	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08
L-Treonina	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
L-Triptófano	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Sal	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.27
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	Análisis calculado (% BS)					
EM (Mcal kg ⁻¹ MS)	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
Proteína cruda	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50
Extracto etéreo	6.00	6.17	6.46	6.73	7.02	7.54
Arginina	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
Fenilalanina	0.62	0.62	0.60	0.58	0.57	0.55
Histidina	0.29	0.29	0.29	0.28	0.27	0.26
Isoleucina	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Leucina	1.31	1.31	1.28	1.25	1.22	1.18
Lisina	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Metionina	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
Metionina + Cistina	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
Treonina	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
Triptófano	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Valina	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Ca	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
P	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27

[†]Proporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15 000 UI; vitamina D3, 2500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg. [‡]Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg. [§]Biolys: 50 % de lisina. ^pT: Tratamientos. [¶]Supplied, per kg of feed: vitamin A, 15 000 IU; vitamin D3, 2500 IU; vitamin E, 37.5 IU; vitamin K, 2.5 mg; thiamine, 2.25 mg; riboflavin, 6.25 mg; niacin, 50 mg; pyridoxine, 2.5 mg; cyanocobalamin, 0.0375 mg; biotin, 0.13 mg; choline chloride, 563 mg; pantothenic acid, 20 mg; folic acid 1.25 mg. [¶]Supplied, per kg of feed: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg. [§]Biolys: 50 % of lysine. ^pT: Treatment.

VARIABLES PRODUCTIVAS Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL

Las variables fueron: comportamiento productivo (consumo de alimento, CAL; ganancia diaria de peso, GDP; conversión alimenticia, CA; ganancia de carne magra, GCM; y peso vivo final, PVF; características de la canal (grasa dorsal, GD; porcentaje de carne magra, PCM para la segunda etapa; área del músculo *Longissimus dorsi*, AML; y concentración de urea en plasma (CUP).

At the end of each experimental stage, blood samples were taken from the superior vena cava, using Vacutainer[®] tubes with herapin. The samples were put on ice, before they were centrifuged (SIGMA 2-16K, Germany), at 2500 g for 20 minutes, in order to separate the plasma from the cellular package. The plasma was transferred to polypropylene tubes and it was stored in a freezer (SANYO MDF-436, USA) at -20 °C, until it was analyzed, in order to determine plasma urea (Chaney and Marbach, 1962).

Cuadro 2. Dietas experimentales para cerdos en finalización (75-100 kg PV).
Table 2. Experimental diets for finishing pigs (75-100 kg BW).

Ingrediente (%)	T ^{p1}	T2	T3	T4	T5	T6
Sorgo	86.54	85.69	84.84	83.61	81.02	78.43
Pasta de soya	9.19	8.39	7.58	6.73	5.74	4.74
Aceite de soya	0.93	0.60	0.26	0.00	0.00	0.000
Semillas de linaza molida	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
Carbonato de calcio	0.55	0.59	0.62	0.65	0.68	0.71
Ortofosfato de calcio	0.75	0.68	0.62	0.56	0.52	0.49
Vitaminas y minerales [†] y [‡]	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Biolys [§]	0.73	0.75	0.77	0.79	0.82	0.842
DL-Metionina	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
L-Triptófano	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
L-Treonina	0.20	0.20	0.20	0.21	0.21	0.21
Sal	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Análisis calculado (% BS)						
EM (Mcal kg ⁻¹ MS)	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
PC	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50
Extracto etéreo	4.42	4.70	4.97	5.31	5.89	6.47
Arginina	0.58	0.58	0.59	0.59	0.60	0.60
Fenilalanina	0.57	0.57	0.59	0.60	0.61	0.62
Histidina	0.26	0.27	0.27	0.28	0.29	0.30
Isoleucina	0.45	0.45	0.45	0.44	0.43	0.43
Leucina	1.24	1.25	1.26	1.27	1.26	1.26
Lisina	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
Metionina	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
Metionina+Cistina	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
Treonina	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Triptófano	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Valina	0.57	0.56	0.56	0.55	0.54	0.53
Ca	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
P	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45

[†]Proporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15 000 UI; vitamina D3, 2500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido. pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg. [‡]Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg. [§]Biolys: 50% de lisina. ^pT: Tratamientos. [¶]Supplied, per kg of feed: vitamin A, 15 000 IU; vitamin D3, 2500 IU; vitamin E, 37.5 IU; vitamin K, 2.5 mg; thiamine, 2.25 mg; riboflavin, 6.25 mg; niacin, 50 mg; pyridoxine, 2.5 mg; cyanocobalamin, 0.0375 mg; biotin, 0.13 mg; choline chloride, 563 mg; panthothenic acid, 20 mg. [¶]Supplied, per kg of feed: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mh; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg. [§]Biolys: 50 % of lysine. ^pT: Treatment.

La GD y AML se midieron en el área lumbar en la penúltima costilla, utilizando un ultrasonido de tiempo real (SonoVet 600, Medison, Inc., Cypress, California, USA) al inicio y al final de cada etapa. Con estos datos y con los de PVI y PVF se calculó la GCM y el PCM utilizando la ecuación del National Pork Producers Council (1991).

Al finalizar cada etapa experimental, se obtuvieron muestras de sangre de la vena cava anterior con tubos Vacutainer® con heparina; éstas se colocaron en hielo hasta centrifugarse (SIGMA 2-16k, Alemania) a 2500 g por 20 min, para separar el plasma del

Physicochemical characteristics of meat

The physicochemical characteristics of meat were evaluated at the end of the second experimental stage, when pigs reached 100 kg of live weight. Four pigs per treatment were slaughtered and samples were taken from their ham (*Biceps femoris*) and loin (*Longissimus dorsi*); color, pH, water holding capacity (WHC), and texture were measured. Part of the samples were frozen, in order to analyze their FA profile. The slaughter process was carried out at the farm's slaughterhouse, complying with the

paquete celular. El plasma se transfirió a tubos de polipropileno y se almacenó en un congelador (SANYO MDF-436, EUA) a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis, para la determinación de la urea en plasma (Chaney y Marbach, 1962).

Características fisicoquímicas de la carne

Las características fisicoquímicas de la carne se evaluaron al final de la segunda fase experimental, cuando los cerdos alcanzaron 100 kg PV. Cuatro cerdos se sacrificaron por tratamiento y se tomaron muestras de pierna (*Biceps femoris*) y de lomo (*Longissimus dorsi*); se midió el color, el pH, la capacidad de retención de agua (CRA) y la textura; parte de las muestras se congelaron para el análisis del perfil de AG. El sacrificio se realizó en el rastro de la granja, cumpliendo con la Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995 (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 1995).

La determinación del color se efectuó 24 h *post mortem* utilizando un colorímetro portátil (Hunter Lab, Chroma meter CR-410, Konica Minolta Sensing, Inc., Japan). El color blanco se calibró en tres diferentes puntos sobre el área superficial de la pierna y lomo del cerdo para medir los índices de luminosidad (L^*), rojo (a^*) y amarillo (b^*).

El pH se midió directamente en el músculo de la pierna y lomo 24 h *post mortem* con un potenciómetro portátil de punción Hanna (modelo pH 1100).

La CRA en las muestras de carne de lomo y pierna se realizó con el método propuesto por Guerrero *et al.* (2002) a las 24 h *post mortem*: 2 g de carne, finamente picada, se colocaron en un tubo de centrifuga, se homogeneizó con 5 mL de una solución 0.6 M de cloruro de sodio, agitándose en un vortex durante 1 min; las muestras reposaron 30 min en un refrigerador a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se centrifugaron 15 min a 3500 g. El sobrenadante fue decantado y medido en una probeta. El volumen retenido de agua se reporta como la cantidad de agua retenida en 100 g de carne.

La textura se evaluó 24 h *post mortem* en muestras de carne de pierna y lomo, obtenidas con una navaja de Warner-Bratzler y en un analizador de textura TA-XT2 (Textura Technologies Corp., Scarsdale, NY). Cubos de carne cruda de 1 cm por cada lado se colocaron con las fibras del músculo transversales al filo de la navaja y se registró la fuerza máxima para cortar y la fuerza conocida (Guerrero *et al.*, 2002).

Perfil de ácidos grasos en pierna y lomo

El perfil de AG se determinó en un cromatógrafo HP[®] (Modelo 6890), estándar de ésteres metílicos Supelco 37 (Component FAME Mix Catálogo N0.47885-U), con una

Mexican Official Standard NOM-033-ZOO-1995 (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, 1995).

Color was determined 24 h *post mortem* using a portable colorimeter (Hunter Lab, Chroma meter CR-410, Konica Minolta Sensing, Inc., Japan). White color was calibrated in three different points on the surface of the pork ham and loin, in order to measure the level of brightness (L^*), red (a^*), and yellow (b^*).

The pH was measured directly on the ham and loin muscles, 24 h *post mortem*, using a Hanna puncture portable potentiometer (pH 1100 model).

The WHC in pork ham and loin samples was measured 24 h *post mortem*, using the method proposed by Guerrero *et al.* (2002): 2 g of finely ground meat were placed on a centrifuge tube, before being homogenized with 5 mL of a 0.6 M sodium chloride solution, shaken in a vortex during 1 min. Samples settled 30 min on a refrigerator, at $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, before they were centrifuged during 15 min, at 3500 g. The supernatant was decanted and measured using a test tube. The volume of holding water is reported as the amount of water held in 100 g of meat.

Texture was determined 24 h *post mortem*, using pork ham and loin samples, obtained with a Warner-Bratzler blade, using a TA-XT2 texture analyzer (Textura Technologies Corp, Scarsdale, NY). Raw meat cubes ($1\times 1\times 1\text{ cm}$) were aligned with muscle fibers at an oblique angle with regard to the edge of the blade, and maximum cutting force and the known force were recorded (Guerrero *et al.*, 2002).

Fatty acid profile in ham and loin

Fatty acids profile was determined using an HP[®] chromatograph (6890 Model), methyl esters standard, Supelco 37 (Component FAME Mix, Catalog No. 47885-U), with a Supelco column (SP[™]-2660 FUSED SILICA Capillary Column, $100\text{M}\times 0.25\text{mm}\times 0.2\text{ }\mu\text{m}$ film thickness). The carrier gas was helium at 0.8 mL min^{-1} ; a $1\text{ }\mu\text{L}$ was injected manually in Split mode 1:10; the initial ramp temperature was $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ per $1\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$, with a $3\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ increase up to $210\text{ }^{\circ}\text{C}$, and a $0.7\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ decrease down to $235\text{ }^{\circ}\text{C}$. The analysis of each sample took 60 minutes.

Statistical analysis

The experimental design was a completely randomized, with six treatments and eight replicates (a pig per replicate). Based on the data obtained, an ANOVA was carried out, using the GLM procedure of SAS, and the treatments means were compared using the Tukey test ($p\leq 0.05$) (SAS, 2010). The initial

columna Supelco (SP™-2660 FUSED SILICA Capillary Column, 100 m×0.25 mm×0.2 μm film thickness). El gas portador fue helio a 0.8 mL min⁻¹; la inyección de muestras fue 1 μL en modo Split 1:10 manualmente; con una rampa de temperatura inicial de 140 °C por 1 °C min⁻¹, con un incremento a 3 °C min⁻¹ a una temperatura de 210 °C, y un decremento de 0.7 °C min⁻¹ y una temperatura final de 235 °C. El tiempo total para analizar cada muestra fue 60 min.

Análisis estadístico

El diseño experimental usado fue completamente al azar, con seis tratamientos y ocho repeticiones (un cerdo por repetición). Con los datos obtenidos se realizó un ANDEVA con el procedimiento GLM de SAS y las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); (SAS, 2010). El peso inicial de los cerdos se utilizó como covariable debido a la heterogeneidad del peso vivo observada ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VARIABLES PRODUCTIVAS, UREA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL

La concentración de linaza (4 % y cantidades mayores), en la dieta de cerdos de 50-75 kg tuvo un efecto adverso en la GDP, CA y PVF ($p \leq 0.05$); para CAL no hubo diferencias ($p > 0.05$) en ningún tratamiento (Cuadro 3). Para cerdos de 75-100 kg las

body weight of the pigs was used as a covariate, because of the heterogeneity of the iBW ($p \leq 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

Productive performance, urea and carcass characteristics

Flaxseed concentration (4 % and higher amounts) on the diet of 50 to 75 kg pigs had an adverse effect on ADG, FGR, and fBW ($p \leq 0.05$); there was no difference for the FI ($p > 0.05$) in any treatment (Table 3). For 75 to 100 kg pigs, the productive performance did not change when flaxseeds were added to the diet (Table 4).

In the study carried out by Eastwood *et al.* (2009), the flaxseed flour level had a quadratic effect ($p \leq 0.08$) on the weight gain and the feed conversion of 32 to 60 kg pigs, but they did not determine which one was the best; nevertheless, the level did not have an impact ($p > 0.1$) on the productive variables in pigs with 60 to 85 kg of BW, which was similar to the results of this study. According to Matthews *et al.* (2000), adding up to 1 % of flaxseeds to the diet of 30 to 85 kg pigs did not produce differences in FGR, ADG, and fBW. Haak *et al.* (2008) reported that adding ground flaxseeds (0 and 3 %) to the diets of finishing pigs (70 kg) did not result in differences in ADG and FI.

Cuadro 3. Comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en finalización (50-75 kg PV) alimentados con semillas de linaza molida en la dieta.

Table 3. Productive performance, carcass characteristics, and plasma urea concentration of finishing pigs (50-75 kg PV) fed ground flaxseeds in the diet.

Semillas de linaza (% BS)	CAL [§] (kg/d)	GDP [§] (kg d ⁻¹)	CA ^b	PVF [□] (kg)	GDF ^{††} (mm)	AML ^{¶¶} (cm ²)	CUP ^{§§} mg dL ⁻¹
T1 ^{bP} =0	2.84	1.202ab	2.36ab	83.61ab	9.42a	26.78	29.38
T2=2	2.96	1.428a	2.09a	89.94a	9.59a	28.68	28.89
T3=4	2.74	0.884b	3.13b	74.69b	8.07b	24.75	29.17
T4=6	2.68	0.856b	3.15b	73.89b	8.22b	25.56	29.47
T5=8	3.10	0.986b	3.19b	77.50b	8.37b	28.19	28.59
T6=10	3.29	0.952b	3.49b	76.65b	8.79ab	26.57	28.77
EEM [†]	0.21	0.04	0.24	1.26	0.42	1.24	2.41
P	0.39	0.0001	0.0015	0.0001	0.05	0.23	0.73

^{abc} Medias con letra diferente en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). [†]EEM: error estándar de la media. ^{bP}T: Tratamiento. [§]CAL: Consumo de alimento. [§]GDP: Ganancia de peso. ^bCA: Conversión alimenticia, [□]PVF: Peso final, ^{††}GDF: Grasa dorsal final, ^{¶¶}AML: Área del músculo *Longissimus dorsi*. ^{§§}CUP: Concentración de urea en plasma. [¶] ^{abc} Means with different letters in a column are statistically different ($p \leq 0.05$). [†]SEM: standard error of the mean. ^{bP}T: treatment. [§]ADFI: average daily feed intake. [§]ADG: average daily gain. ^PFGR: feed:gain ratio. [□]BW: body weight. ^{††}BT: backfat thickness. ^{¶¶}LMA: *Longissimus dorsi* muscle area. ^{§§}PUN: plasma urea nitrogen concentration.

variables productivas no cambiaron al incluir semillas de linaza en la dieta (Cuadro 4).

En el estudio realizado por Eastwood *et al.* (2009) el nivel de harina de linaza (0, 5, 10 y 15 %) para cerdos de 32-60 kg de PV tuvo un efecto cuadrático ($p \leq 0.08$) en la ganancia de peso y en la conversión alimenticia, sin determinar cual fue mejor, pero no afectó ($p > 0.1$) las variables productivas en cerdos de 60 a 85 kg de PV, similar a nuestro estudio. Matthews *et al.* (2000) adicionaron hasta 1 % de semillas de linaza, en dietas para cerdos de 30 a 85 kg, y no hubo diferencias en CA, GDP y PVF. Haak *et al.* (2008) agregaron semillas de linaza molida (0 y 3 %) a dietas para cerdos en finalización (70 kg de peso), y no detectaron diferencias en GDP ni CAL.

Los estudios mencionados antes incluyeron 3 a 15 % harina de linaza en dietas para cerdos en finalización, sin dejar claro cual nivel tuvo efectos adversos en las variables productivas. En nuestro estudio, la inclusión adecuada de semillas de linaza molida es 2 % para cerdos de hasta 50-75 kg y 10 % para cerdos de 75-100 kg.

La evaluación de las características de la canal de los cerdos de 50 a 75 kg indicó que la GDF se redujo ($p \leq 0.05$) al incluir 4 % o más de semillas de linaza en la dieta; el AML no fue afectada con la inclusión de hasta 10 % de semillas de linaza (Cuadro 3). Para cerdos de 75-100 kg, el AML no cambió ($p \leq 0.09$), pero si modificó el PCM de los cerdos ($p \leq 0.04$) al usar 4 % de semillas de linaza en la

The above-mentioned studies included 3-15 % flaxseed flour to the diet of finishing pigs, but they did not make clear which level had adverse effects on productive variables. According to our study, the adequate percentage of ground flaxseed is the following: 2 % for 50-75 kg pigs; and 10 % for 75-100 kg pigs.

The evaluation of carcass characteristics of 50-75 kg pigs indicated that ADG decreased ($p \leq 0.05$) after 4 % or more flaxseeds were included in the diet; LMA was not affected by the inclusion of up to 10 % of flaxseeds (Table 3). For 75-100 kg pigs, LMA was not affected ($p \leq 0.09$), but pig's LMP was modified ($p \leq 0.04$) when 4 % of flaxseed was used in the diet (Table 5). Lisiak *et al.* (2013) did not observe changes in ADG and LMA, in 25 to 60 and 60 to 105 kg pigs that were fed with up to 2.5 % flaxseed oil; meanwhile, in our study we used a maximum concentration of 10 % ground flaxseed, which is equivalent to 1.2 kg of flaxseed oil, depending on the extraction method (Eastwood *et al.*, 2009). Wojtasik *et al.* (2012) mentioned that 0.1 and 2.5 % levels of flaxseed oil did not change the BT and LMA variables in 25 to 60 and 60 to 105 kg pigs.

Differences between our study and those conducted by Lisiak *et al.* (2013) and Wojtasik *et al.* (2012) can be caused by the increase of omega-3 fatty acids in the meat, favored by adding flaxseeds to the diet, that could increase the intramuscular fat

Cuadro 4. Comportamiento productivo de cerdos en finalización (75-100 kg PV) alimentados con semillas de linaza molida en la dieta.

Table 4. Productive performance of finishing pigs (75-100 kg PV) fed ground flaxseeds in the diet.

Semillas de linaza (% BS)	GDP [§] (kg d ⁻¹)	CAL [§] (kg d ⁻¹)	CA ^p	PVF [□] (kg)	GCM ^{††} (kg)
T1 ^{bp} =0	0.860	3.85	4.61	93.88	0.169
T2=2	0.773	3.77	4.97	92.14	0.151
T3=4	0.835	3.93	4.87	93.42	0.147
T4=6	0.909	4.03	4.81	94.89	0.186
T5=8	0.885	3.77	4.41	94.43	0.180
T6=10	0.819	3.48	4.48	93.06	0.162
EEM [†]	0.06	0.25	0.41	1.27	0.02
P	0.75	0.78	0.91	0.74	0.49

^{abc} Medias con letra diferente en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). [†]EEM: error estándar de la media. ^{bp}T: Tratamiento. [§]GDP: Ganancia diaria de peso. [§]CAL: Consumo de alimento. ^pCA: Conversión alimenticia. [□]PVF: Peso vivo final. ^{††}GCM: Ganancia de carne magra. [✧] ^{abc} Means with different letters in a column are statistically different ($p \leq 0.05$). [†]SEM: standard error of the mean. ^{bp}T: treatment. [§]ADFI: average daily feed intake. [§]ADG: average daily gain. ^pFGR: feed:gain ratio. [□]BW: body weight. ^{††}FFLG: fat free lean gain.

dieta (Cuadro 5). Lisiak *et al.* (2013) no observaron efecto en GDF y AML en cerdos de 25 a 60 y 60 a 105 kg alimentados hasta con 2.5 % de aceite de linaza, comparado con la concentración máxima de 10 % semillas de linaza molida usada en nuestro estudio, que equivale a 1.2 kg de aceite de linaza, según el método de extracción (Eastwood *et al.*, 2009). Wojtasik *et al.* (2012) mencionan que 0, 1 y 2.5 % de aceite de linaza no afectaron la GD y AML en cerdos de 25 a 60 y 60 a 105 kg.

Las diferencias entre nuestro estudio y los realizados por Lisiak *et al.* (2013) y Wojtasik *et al.* (2012) pueden deberse a que el aumento de AG omega 3 en la carne, propiciado por la inclusión de semillas de linaza en la dieta, podría aumentar el contenido de grasa intramuscular en la carne, debido a alteraciones en la expresión de genes involucrados en la adipogénesis (Luo *et al.*, 2009). Pero si la concentración de AG omega 3 en la carne es muy alta, y sin un suplemento con antioxidantes, puede aumentar la oxidación de los AG poliinsaturados (Cunnane *et al.*, 1990), lo cual podría alterar el aumento en el depósito de grasa.

Los niveles de semilla de linaza no cambiaron ($p > 0.05$) la concentración de urea en plasma (CUP; Cuadros 3 y 5) durante las dos etapas experimentales, posiblemente porque en las dietas la concentración de aminoácidos y energía metabolizable fue constante. Abreu *et al.* (2007) y López *et al.* (2010) mencionan

content of meat, as a result of alterations in the gene expressions involved in the adipogenesis (Luo *et al.*, 2009). However, if omega-3 fatty acids concentration in meat is very high and it is not accompanied by antioxidant supplements, the oxidation of polyunsaturated fatty acids can increase (Cunnane *et al.*, 1990), which could alter the increase in the fat deposit.

Flaxseeds levels did not affect ($p > 0.05$) the plasma urea nitrogen concentration (PUN; Tables 3 and 5) during the two experimental stages, possibly because the amino acid and metabolizable energy concentration was constant in all diets. Abreu *et al.* (2007) and López *et al.* (2010) mention that when diets are isoproteinic and isoenergetic do not modify the plasma urea concentration.

Physicochemical characteristics

The concentration of ground flaxseeds did not change the pH, water holding capacity (WHC), color (L^* , a^* and b^*), and texture of loin meat ($p > 0.05$); the effect on ham meat was similar, except for texture ($p \leq 0.05$) (Tables 6 and 7). This agrees with Lisiak *et al.* (2013), who reported that 1, 2.3 and 2.5 % of flaxseed oil did not change the physicochemical characteristics of loin and ham meat at 24 and 45 h post mortem in 65 kg BW pigs.

Cuadro 5. Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en finalización (75-100 kg PV) alimentados con seis niveles de inclusión de semillas de linaza molida en la dieta.

Table 5. Carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration of finishing pigs (75-100 kg PV) fed six levels of ground flaxseed added to the diet.

Semillas de linaza (% BS)	GDI [¶] (mm)	GDF [§] (mm)	AMLi ^b (cm ²)	AMLf [□] (cm ²)	CMI ^{††} (%)	CMF ^{¶¶} (%)	CUP ^{§§} mg dL ⁻¹
T1 ^{bP} =0	9.42	13.03	26.78	32.61	38.71	37.84 ^a	28.92
T2=2	9.35	12.95	28.08	33.34	39.33	38.21 ^a	28.82
T3=4	8.26	11.79	25.21	28.91	38.64	37.02 ^b	28.33
T4=6	8.36	12.69	25.91	33.07	38.75	37.96 ^a	28.02
T5=8	8.44	11.63	28.56	34.69	39.79	38.89 ^a	28.16
T6=10	8.55	12.36	26.43	32.42	38.95	38.02 ^a	28.31
EEM [†]	0.39	0.65	1.16	1.37	0.45	0.39	1.87
P	-	0.52	-	0.09	-	0.04	0.34

^{abc} Medias con letra diferente en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). [†]EEM: error estándar de la media. ^{bP}T: Tratamiento. [¶]GDI: Grasa dorsal inicial. [§]GDF: Grasa dorsal final. ^bAMLi: Área del músculo *Longissimus dorsi* inicial. [□]AMLf: Área del músculo *Longissimus dorsi* final. ^{††}CMI: Carne magra inicial. ^{¶¶}CMF: Carne magra final. ^{§§}CUP: Concentración de urea en plasma. [‡]SEM: standard error of the mean. ^{bP}T: treatment. [¶]iBT: initial backfat thickness. [§]fBT: final backfat thickness. ^biLMA: initial *Longissimus dorsi* muscle area. [□]fLMA: final *Longissimus dorsi* muscle area. ^{††}iLMP: initial lean meat percentage. ^{¶¶}fLMP: final lean meat percentage. ^{§§}PUN: plasma urea nitrogen concentration.

que dietas isoproteicas e isoenergéticas no modifican la concentración de urea en plasma.

Características fisicoquímicas

El pH, la capacidad de retención del agua (CRA), el color (L^* , a^* y b^*) y la textura de la carne de lomo no cambió ($p > 0.05$) por la concentración de semilla de linaza, lo cual fue similar en la carne de pierna, excepto en la textura en la cual hubo efecto ($p \leq 0.05$) (Cuadros 6 y 7). Esto coincide con Lisiak *et al.* (2013), quienes indican que 1, 2.3 y 2.5 % de aceite de linaza no cambiaron las características fisicoquímicas de la carne de lomo y pierna a 24 y 45 h *post mortem* en cerdos de 65 kg.

Los resultados de nuestro estudio se explican probablemente porque los tratamientos no modificaron el pH y por ende no se afectaron las demás variables. Los rangos de pH en la carne de pierna (5.40-5.69) y del lomo (5.43-5.50) podrían deberse a la producción de compuestos de putrefacción como aminas biogénicas, aldehídos, cetonas y AG de cadena corta, porque con valores inferiores a 5.4 y superiores a 5.8, *post rigor mortis*, comienza la descomposición de la carne (Guerrero, 2009). Así, los valores de pH de nuestro estudio están dentro del rango de pH adecuado en carne (Flores *et al.*, 1999).

El grado de acidificación está relacionado con la CRA, a mayor valor de pH mayor capacidad de retención de agua. Algunos estudios reportan la CRA en carne de pierna de 1.98-2.54 % y en lomo de

The treatments did not modify the pH and, therefore, the other variables did not change either, and this probably explains the results of this study. The pH ranges in ham (5.40-5.69) and loin (5.43-5.50) meat could be the result of the production of decomposition compounds, such as biogenic amines, aldehydes, ketones, and short-chain fatty acids. Decomposition of meat starts with values of pH lower than 5.4 and higher than 5.8, *post rigor mortis* (Guerrero, 2009). The pH values of our study seem to be in the adequate pH ranges for meat (Flores *et al.*, 1999).

The degree of acidification is related with WHC; as the pH level increases, so does the water holding capacity. Some studies report 1.98-2.54 % WHC in ham meat and 3.82-5.15 % WHC in loin meat (Homsí and Francisco, 2003). In our study, WHC had minimum values of 0.88 and 0.85 mL, and maximum values of 1.0 mL and 0.97 mL, in ham and loin meat, respectively. However, different levels of ground flaxseed did not change WHC, probably because the treatments did not modify the pH of the meat. This matched the findings of Haak *et al.* (2008), which did not find important differences in color, pH, and WHC, neither when testing 0 and 3 % ground flaxseed levels, nor in diets with and without flaxseeds (Nuernberg *et al.*, 2005; Mas *et al.*, 2011). Color is a variable that consumers relate with a fresh product; in our study, we did not find difference ($p > 0.05$) in the L^* , a^* , and b^* indexes of meat. In a meta-analysis, Corino *et al.* (2014) analyzed 24

Cuadro 6. Características físico-químicas de la carne en pierna de cerdos en finalización alimentados con la inclusión de semillas de linaza molida en la dieta.

Table 6. Physicochemical characteristics in ham meat of finishing pigs fed six levels of ground flaxseed added to the diet.

Semillas de linaza (% BS)	pH	L^* [¶]	a^* [§]	b^* [¶]	CRA [□]	Textura (g cm ⁻²)
T1 ^{b¶} =0	5.69	57.07	17.15	7.12	1.00	1808.0 ^{bc}
T2=2	5.58	55.48	16.57	7.09	0.98	2237.7 ^a
T3=4	5.40	56.81	17.53	6.40	0.88	2067.9 ^{ab}
T4=6	5.58	54.90	16.92	6.55	0.90	1601.1 ^c
T5=8	5.41	52.90	18.73	6.43	0.91	1888.9 ^{abc}
T6=10	5.45	56.79	15.85	6.48	1.08	1640.0 ^c
EEM [†]	0.09	1.90	0.73	0.61	0.13	150.36
P	0.24	0.62	0.13	0.93	0.85	0.04

^{abc} Medias con letra diferente en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). [†]EEM: error estándar de la media. ^{b¶}T: Tratamiento. [¶] L^* : Luminosidad; [§] a^* : Índice rojo; [¶] b^* : Índice amarillo; [□]CRA: capacidad de retención de agua. [¶] ^{abc} Means with different letters in a column are statistically different ($p \leq 0.05$). [†]SEM: standard error of the mean. ^{b¶}T: treatment. L^* : brightness. [§] a^* : red index. [¶] b^* : yellow index. WHC: water holding capacity.

Cuadro 7. Características físico-químicas de la carne en lomo de cerdos en finalización alimentados con la inclusión de semillas de linaza molida en la dieta.**Table 7. Physicochemical characteristics in loin meat of finishing pigs fed six levels of ground flaxseed added to the diet.**

Semillas de linaza (% BS)	pH	L* [§]	a* [§]	b* ^b	CRA [□]	Textura (g cm ⁻²)
T1 ^{bb} =0	5.43	58.61	15.29	6.90	0.85	1686.6
T2=2	5.45	56.18	15.80	7.58	0.88	1934.9
T3=4	5.51	59.17	15.75	7.15	0.97	2279.1
T4=6	5.50	59.55	15.06	7.23	0.96	1886.0
T5=8	5.49	54.55	15.80	6.11	0.86	1566.4
T6=10	5.47	56.71	14.99	6.53	0.88	3624.3
EEM [†]	0.05	1.87	0.85	0.89	0.10	546.01
p	0.64	0.46	0.98	0.95	0.94	0.18

^{abc} Medias con letra diferente en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). [†]EEM: error estándar de la media. ^{bb}T: Tratamiento. [§]L*: Luminosidad; [§]a*: Índice rojo; ^bb*: Índice amarillo; [□]CRA: capacidad de retención de agua. ^{abc} Means with different letters in a column are statistically different ($p \leq 0.05$). [†]SEM: standard error of the mean. ^{bb}T: treatment. L*: brightness. [§]a*: red index. ^bb*: yellow index. WHC: water holding capacity.

3.82-5.15 % (Homsy y Francisco, 2003). En nuestro estudio la CRA tuvo un valor mínimo de 0.88 mL y el más alto de 1.0 mL en la carne de pierna, y en lomo de 0.85 y 0.97 mL. Sin embargo, no se observaron cambios en la CRA por los niveles de semilla de linaza molida, lo que puede deberse a que los tratamientos no modificaron el pH de la carne, y no se reflejó en su CRA. Esto coincide con Haak *et al.* (2008) quienes no encontraron diferencias significativas en color, pH y CRA al probar 0 y 3 % de linaza molida; ni al evaluar dietas con y sin semilla de linaza en pH, color y CRA (Nuernberg *et al.*, 2005; Mas *et al.*, 2011). El color es una variable que los consumidores relacionan con un producto fresco; en nuestro estudio no hubo diferencias ($p > 0.05$) en los índices L*, a* y b* de la carne. Corino *et al.* (2014) en un meta análisis de 24 estudios acerca de la adición de linaza en dietas para cerdos, no encontraron cambios en el pH y el color de la carne.

La inclusión de concentraciones inadecuadas de aceite de linaza en dietas para animales puede tener efectos adversos en las características sensoriales y físico-químicas de la carne, debido a que puede provocar un aumento en la susceptibilidad a la oxidación debido a un mayor depósito de AG Ω -3 (Grau *et al.*, 2001). Ahn *et al.* (1996) señalan que el contenido de AG de un producto cárnico es el principal agente oxidativo en la carne, porque los AG poliinsaturados son más fácilmente atacados por los radicales libres que los AG monoinsaturados y AG saturados. Además, esta mayor propensión de los AG poliinsaturados no

studios about adding flaxseed to pig diets and did not find changes in pH and in meat color.

Including inadequate concentrations of flaxseed oil in animal diets can have adverse effects in the meat's sensory and physicochemical characteristics, because it can cause an increase in the oxidation susceptibility, as a result of the higher deposition of Ω -3 FA (Grau *et al.*, 2001). Ahn *et al.* (1996) point out that a meat product's FA content is its main oxidizing agent, because polyunsaturated fatty acids are more easily attacked by free radicals than monounsaturated and saturated FA. Likewise, this greater tendency is not the same for all polyunsaturated FA; rather, it increases along with the unsaturation level, because they are highly sensible to the attack of free radicals (Angelo, 1996). Therefore, the oxidation processes of polyunsaturated fatty acids cause undesirable modifications to the meat's organoleptic and physicochemical characteristics (Cherian *et al.*, 1996).

However, Corino *et al.* (2008) found that including ground flaxseed increases the meat's linolenic acid content, without diminishing its oxidative stability, or affecting its color or flavor. Likewise, Aguilar-Guggembuhl *et al.* (2014) found that the odor and flavor of meat was not altered when docosahexaenoic, eicosapentaenoic, and conjugated linoleic FA were included; they considered that the staleness had diminished because these FA captured electrons (Huang and Ho, 2011): Ω -3 fatty acids have a positive effect in the preservation of cell

es igual para todos ellos sino que aumenta con el nivel de insaturación, siendo muy sensibles al ataque de radicales libres (Angelo, 1996). Por lo tanto, los procesos de oxidación de los AG poliinsaturados causan modificaciones indeseables en las características organolépticas y fisicoquímicas de la carne (Cherian *et al.*, 1996).

Sin embargo, Corino *et al.* (2008) encontraron que la inclusión de semilla de linaza molida aumenta el contenido del ácido linolénico en la carne sin disminuir la estabilidad oxidativa, afectar el color ni el sabor. Además, Aguilar-Guggembuhl *et al.* (2014) observaron que el aroma y sabor de la carne no se alteró por la inclusión de AG docosahexaenoico, eicosapentaenoico y linoleico conjugado, y atribuyen la disminución de la rancidez a la captura de electrones por parte de estos AG (Huang y Ho, 2011); ya que los AG Ω -3 tienen un efecto positivo en el mantenimiento de las membranas celulares y la actividad antioxidante (Valenzuela *et al.*, 2011). Así, se podría inferir que la inclusión de semillas de linaza en nuestro estudio incrementó el depósito de AG Ω -3 y AG Ω -6, pero no aumentó el índice oxidativo en la carne. Como consecuencia, las características fisicoquímicas no se alteraron, aun con las concentraciones más altas de semillas de linaza.

En nuestra investigación, los resultados de textura de la carne de pierna son diferentes a lo reportado por Lisiak *et al.* (2013), quienes no encontraron diferencias de textura en la carne de pierna y lomo al adicionar 1, 2.3 y 2.5 % de aceite de linaza, los cuales son superiores a la adición de 10 % de semillas de linaza, ya que se pueden obtener hasta 120 g de aceite por kg de semillas de linaza (Eastwood *et al.*, 2009). Por lo tanto, en nuestro estudio, el 10 % de semillas de linaza molida proporciona alrededor de 1.2 % de aceite, comparado con 2.5 % de aceite proporcionado a los cerdos por Lisiak *et al.* (2013).

Perfil de ácidos grasos en pierna y lomo

En el perfil de AG saturados y monoinsaturados en pierna no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 8). La carne de lomo tuvo un comportamiento similar en el perfil de AG saturados y monoinsaturados ($p > 0.05$; Cuadro 9), excepto los AG esteárico y araquídico que fueron diferentes ($p \leq 0.05$) debido a la cantidad de semillas de linaza molida adicionada a la dieta. Esto concuerda con el

membrane and antioxidant activity (Valenzuela *et al.*, 2011). Therefore, including flaxseeds in our study—although it increased Ω -3 and Ω -6 fatty acids deposition— does not seem to increase the meat's oxidative rate; consequently, the physicochemical characteristic remained unaltered, even with the highest flaxseed concentration.

The texture data of the ham meat in our research is different from the values reported by Lisiak *et al.* (2013), who did not find different textures in the ham and loin meat when they added 1, 2.3, and 2.5 % flaxseed oil; these levels are higher than those resulting from the addition of 10 % ground flaxseeds. Up to 120 g of oil can be obtained from each kg of flaxseed (Eastwood *et al.*, 2009). Therefore, in our study, 10 % of ground flaxseeds provides approximately 1.2 % of oil, compared with 2.5 % of oil supplied to pigs by Lisiak *et al.* (2013).

Fatty acid profile in ham and loin meat

No significant ($p > 0.05$) differences were found in the saturated and monounsaturated FA profiles of ham meat between treatments (Table 8). The saturated and monounsaturated FA profile of loin meat had a similar response ($p > 0.05$; Table 9), except for stearic and arachidic FA; these fatty acids showed differences ($p \leq 0.05$) as a result of the amount of ground flaxseeds added to the diet. This agrees with the study of Eastwood *et al.* (2009), who used 15 % flaxseed and observed an increase in omega-3 FA and a reduction of palmitic and stearic fatty acids. According to Haak *et al.* (2008) and Lisiak *et al.* (2013), including up to 3 % of seeds or 2.5 % of flaxseed oil does not affect the saturated FA content; however, the concentration of monounsaturated FA (cis-11-eicosatrienoic, oleic and palmitoleic) increased when the flaxseed oil level in the diet increased. Increasing omega-3 FA in meat seems to reduce the content of other fatty acid(s), since—as our experiment proves—the body's fat content does not necessarily increase; changes can also be the result and reflect the diet's lipid profile (Kouba and Mourot, 1999).

With regard to polyunsaturated FA, the content of linolenic ($p \leq 0.0001$) and cis 11, 14, 17-eicosatrienoic ($p \leq 0.0004$) fatty acids—from the Ω -3 family— increased in ham and loin meat

estudio de Eastwood *et al.* (2009) quienes usaron 15 % de semilla linaza y observaron un aumento de AG omega 3 y una reducción de los AG palmítico y esteárico. Haak *et al.* (2008) y Liziak *et al.* (2013) indican que incluir hasta 3 % de semilla o 2.5 % de aceite de linaza, no afecta el contenido de AG saturados; sin embargo, los AG monoinsaturados (cis-11-eicosaenoico, ácidos oleico y palmitoleico), aumentaron su concentración al incrementar los niveles de aceite de linaza en la dieta. Así, se infiere que el aumento de AG omega 3 en la carne puede reducir el contenido de otro (s) AG, ya que el contenido de grasa en el cuerpo no necesariamente aumenta, como ocurrió en nuestro experimento. Pero los cambios también pueden deberse y ser un reflejo del perfil lipídico de la dieta (Kouba y Mourot, 1999).

En cuanto a los AG poliinsaturados, el contenido del AG linolénico ($p \leq 0.0001$) y del AG cis 11,14,17 eicosatrienoico ($p \leq 0.0004$), pertenecientes a la familia de los AG Ω -3, se incrementó en la carne de pierna y lomo (Cuadros 8 y 9) conforme aumentó la cantidad de linaza en la dieta.

Liziak *et al.* (2013), Corino *et al.* (2014) y Skiba *et al.* (2015) demostraron que al agregar aceite o

(Tables 8 and 9), as the amount of flaxseed in the diet increased.

Liziak *et al.* (2013), Corino *et al.* (2014), and Skiba *et al.* (2015) proved that adding flaxseed oil or flaxseeds increases the content of linoleic, arachidonic, cis-11, 14, 17-eicosatrienoic, and cis-11, 14-eicosadienoic unsaturated fatty acids. The increase of Ω -3 fatty acids in meat is proportional to the amount of flaxseeds added to the diet (Matthew *et al.*, 2000; Nuernberg *et al.*, 2005). This has a beneficial effect because Ω -3 fatty acids prevent cardiovascular diseases and strengthen the immune system (Zhan *et al.*, 2009). Therefore, using flaxseeds in pig diets seems to be a good source of Ω -3 fatty acids that increases their content in meat, as a result of their high linolenic fatty acid content.

CONCLUSIONS

Including flaxseeds in the diet of finishing pigs improves their meat's lipid profile and increases the content of Ω -3 fatty acids, without affecting the physicochemical characteristics of the meat. However, including flaxseeds in the diet must not

Cuadro 8. Perfil de ácidos grasos de la carne de pierna de cerdos alimentados con la inclusión de semillas de linaza en la dieta.
Table 8. Fatty acid profile of ham meat of finishing pigs fed flaxseeds supplemented diets.

Semillas de linaza (% BS)	T1 ^{bP} =0	T2=2	T3=4	T4=6	T5=8	T6=10	EEM ^p	p
Ácidos grasos (%)								
Laúrico	0.09	0.09	0.10	0.10	0.09	0.11	0.01	0.83
Mirístico	1.47	1.46	1.40	1.42	1.44	1.38	0.06	0.72
Palmítico	25.29	24.92	23.92	23.23	23.69	22.86	0.55	0.06
Esteárico	11.44	11.12	10.27	11.17	10.59	10.72	0.58	0.72
Araquídico	0.23	0.19	0.20	0.26	0.24	0.20	0.03	0.73
AGS [†]	38.52	37.78	35.89	36.18	36.29	35.27	-	-
Palmitoleico	3.64	3.61	3.86	3.21	3.45	3.41	0.32	0.73
Cis-10-heptadecanoico	0.30	0.27	0.30	0.34	0.29	0.27	0.02	0.08
Eládico	0.20	0.22	0.19	0.22	0.23	0.20	0.01	0.52
Oleico	48.52	47.80	48.72	47.49	46.64	47.49	0.72	0.49
Cis-11-eicosaenoico C20:1	0.84	0.75	0.70	0.82	0.74	0.71	0.05	0.35
AGM [‡]	53.5	52.65	53.93	52.08	51.35	52.08	-	-
Araquidónico	0.42	0.49	0.38	0.53	0.56	0.38	0.07	0.51
Linoleico	6.29	7.11	7.55	8.07	8.39	8.21	0.72	0.38
Linolénico	0.66 ^d	0.95 ^{cd}	1.31 ^{bc}	1.73 ^b	2.27 ^a	2.57 ^a	0.10	0.0001
Cis 11,14 eicosadienoico	0.32	0.33	0.36	0.40	0.39	0.39	0.03	0.16
Cis 11,14,17 eicosatrienoico	0.16 ^c	0.19 ^{bc}	0.22 ^{bc}	0.31 ^{ab}	0.37 ^a	0.41 ^a	0.03	0.0004
AGP [§]	7.85	9.07	9.82	11.04	11.98	11.96	-	-

^{abcd} Medias con letra diferente en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). [†]AGS: ácidos grasos saturados. [‡]AGM: ácidos grasos monoinsaturados. [§]AGP: ácidos grasos poliinsaturados. ^pEEM: error estándar de la media. ^{bP}T: Tratamiento. [‡] ^{abcd} Means with different letters in a column are statistically different ($p \leq 0.05$). [†]SFA: saturated fatty acids. [‡]MUFA: monounsaturated fatty acids. [§]PUFA: polyunsaturated fatty acids. ^pSEM: standard error of the mean. ^{bP}T: treatment.

Cuadro 9. Perfil de ácidos grasos de la carne de lomo de cerdos alimentados con la inclusión de semillas de linaza en la dieta. Table 9. Fatty acid profile of loin meat of finishing pigs fed flaxseeds supplemented diets.

Semillas de linaza (%)	T1 ^b =0	T2=2	T3=4	T4=6	T5=8	T6=10	EEM ^b	p
Ácidos grasos (%)								
Laúrico	0.10	0.09	0.10	0.11	0.09	0.11	0.008	0.46
Mirístico	1.57	1.45	1.53	1.58	1.44	1.58	0.06	0.38
Palmitico	26.85	25.30	26.21	25.43	24.88	25.12	0.56	0.24
Esteárico	11.99 ^a	12.13 ^a	11.81 ^{ab}	11.62 ^b	13.75 ^a	12.02 ^a	0.49	0.04
Araquídico	0.23 ^a	0.23 ^a	0.19 ^b	0.27 ^a	0.28 ^a	0.22 ^a	0.02	0.05
AGS [†]	40.74	39.2	39.84	39.01	40.44	39.05	-	-
Palmitoleico	3.49	3.38	3.81	3.16	2.85	3.19	0.20	0.06
Cis-10-heptadecanoico	0.27	0.26	0.26	0.24	0.27	0.28	0.11	0.59
Eládico	0.18 ^{ab}	0.20 ^{ab}	0.14 ^b	0.19 ^{ab}	0.23 ^a	0.22 ^{ab}	0.02	0.05
Oleico	47.02	48.11	46.30	45.43	46.04	45.49	0.80	0.16
Cis-11-eicosaenoico	0.81	0.77	0.69	0.77	0.78	0.75	0.04	0.52
AGM [‡]	51.77	52.72	51.2	49.79	50.17	49.93	-	-
Araquidónico	0.38	0.38	0.25	0.52	0.32	0.32	0.07	0.26
Linoleico	5.91	5.92	6.77	7.60	6.23	7.28	0.55	0.31
Linolénico	0.65 ^c	1.00 ^{dc}	1.36 ^{dc}	1.61 ^{bc}	1.82 ^{ab}	2.19 ^a	0.08	0.0001
Cis 11,14 eicosadienoico	0.28	0.29	0.31	0.37	0.32	0.35	0.03	0.25
Cis 11,14,17 eicosatrienoico	0.12 ^c	0.18 ^{bc}	0.23 ^b	0.24 ^b	0.32 ^a	0.36 ^a	0.01	0.0001
AGP [§]	7.34	7.77	8.92	10.34	9.01	10.50	-	-

^{abcd} Medias con letra diferente en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). [†]AGS: ácidos grasos saturados. [‡]AGM: ácidos grasos monoinsaturados, [§]AGP: ácidos grasos poliinsaturados. ^bEEM: error estándar de la media. ^bT: Tratamiento. ^v^{abcd} Means with different letters in a column are statistically different ($p \leq 0.05$). [†]SFA: saturated fatty acids. [‡]MUFA: monounsaturated fatty acids. [§]PUFA: polyunsaturated fatty acids. ^bSEM: mean standard error. ^bT: treatment.

semilla de linaza, se incrementa el contenido de los AG insaturados linolénico, araquidónico, cis-11, 14, 17-eicosatrienoico y cis-11, 14-eicosadienoico). El aumento de los AG Ω -3 en la carne es proporcional a la cantidad de semillas de linaza adicionadas en la dieta (Matthews *et al.*, 2000; Nuernberg *et al.*, 2005). Esto es benéfico ya que los AG Ω -3 previenen enfermedades cardiovasculares y fortalecen el sistema inmune (Zhan *et al.*, 2009). Por lo tanto, el uso de semillas de linaza en dietas para cerdos parece ser una buena fuente para aumentar el contenido de AG Ω -3 en la carne por su alto contenido de AG linolénico.

CONCLUSIONES

La inclusión de semillas de linaza en la dieta de cerdos en finalización mejora el perfil lipídico de la carne y aumenta el contenido de ácidos grasos omega-3, sin afectar las características fisicoquímicas de la carne. Aunque la inclusión de semillas de linaza en la dieta no debe superar el 2 %, porque niveles mayores pueden tener un efecto negativo en el comportamiento productivo de los cerdos.

go beyond 2 %, because higher concentration levels can have a negative effect on productive performance of pigs.

—End of the English version—



LITERATURA CITADA

- Abreu, M. L. T., J. L. Donzele, O. R. F. Miranda, A. L. S. Oliveira, F. Santos, e A. A. Pereira. 2007. Níveis de lisina digestível em rações, utilizado-se o conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaca dos 60 aos 95 kg. *Rev. Bras. Zoot.* 36: 54-61.
- Aguilar-Guggemuhl, J., D. Mota-Rojas, H. Escalona-Buendía, M. E. Trujillo-Ortega, y I. Guerrero-Legarreta. 2014. Efecto de dietas con ácidos grasos poliinsaturados en las propiedades sensoriales de la carne de cerdo. *Agrociencia.* 48: 777-788.
- Ahn, D., S. Lutz, and J. Sim. 1996. Effects of dietary alpha-linolenic acid on the fatty composition, storage stability and sensory characteristics of pork loin. *Meat Sci.* 43: 291-299.
- Angelo, A. 1996. Lipid oxidation in foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 36: 175-224.

- Chaney, A. L., and E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8: 130-132.
- Cherian, G., F. Wolfe, and J. Sim. 1996. Dietary oils with added tocopherols: Effects on egg or tissue tocopherols, fatty acids, and oxidative stability. *Poult. Sci.* 75: 423-431.
- Corino, C., M. Musella, and J. Mourot. 2008. Influence of extruded linseed on growth, carcass composition and meat quality of slaughtered pigs at 110 and 160 kilograms of live weight. *J. Anim. Sci.* 86: 1850-1860.
- Corino, C., R. Rossi, S. Cannata, and S. Ratti. 2014. Effect of dietary linseed on the nutritional value and quality of pork and pork products: Systematic review and meta-analysis. *Meat Sci.* 98: 679-688.
- Cunnane, S. C., P. A. Stitt, S. Ganguli, and J. K. Armstrong. 1990. Raised omega-3 fatty acid levels in pigs fed flax. *Can. J. Anim. Sci.* 70: 251-254.
- Eastwood, P. R. K., A. D. Beaulieu, and P. Leterme. 2009. Nutritional value of flaxseed meal for swine and its effects on the fatty acid profile of the carcass. *J. Anim. Sci.* 87: 3607-3619.
- Flores, M., E. Armero, M. C. Aristoy, and F. Toldrá. 1999. Sensory characteristic of cooked pork loin as affected by nucleotide content and postmortem meat quality. *Meat Sci.* 51: 53-59.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación de Köppen (para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana). 4a. Ed., México D. F. 217 p.
- Guerrero, L. I. 2009. Meat spoilage detection. In: Nollet, L., and F. Toldrá (eds). *Handbook of Processed Meat and Poultry Analysis*. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. pp: 445-460.
- Guerrero, L. I., A. E. Ponce, y M. L. Pérez. 2002. Curso práctico de tecnología de carnes y pescado. Universidad Metropolitana Unidad Iztapalapa. D.F. México. 171 p.
- Grau, A., R. Codony, S. Grimpa, D. Baucells, and F. Guardiola. 2001. Cholesterol oxidation in frozen dark chicken meat: influence of dietary fat source, and alfa tocopherol and ascorbic acid supplementation. *Meat Sci.* 57: 197-208.
- Haak, L., S. De Smet, D. Fremaut, K. Van Walleghem, and K. Raes. 2008. Fatty acid profile and oxidative stability of pork as influenced by duration and time of dietary linseed or fish oil supplementation. *J. Anim. Sci.* 86: 1418-1425.
- Homsí, B. L. A., and P. L. Francisco. 2003. Water holding capacity (WHC) and subjective color assessment of different preclassified swine carcass cuts according to the *longissimus dorsi* pH. *Proc. 49th. Int. Congress Meat Sci. Technol.* 59: 573-582.
- Huang, T. C., and C.T. Ho. 2011. Flavors and flavor generation of meat products. In: Aalhus, J, L. Cocolin, I. Guerrero Legarreta, L. Nollet, R. Purchas, P. Stanfield, Y. Xiong, and M. Schilling (eds). *Handbook of Meat and Meat Processing*. CRC Press. New York. pp: 107-137.
- Huang, F. R., Z. P. Zhan, J. Luo, Z. X. Liu, and J. Peng. 2008. Duration of dietary linseed feeding affects the intramuscular fat, muscle mass and fatty acid composition in pig muscle. *Livest. Sci.* 118: 132-139.
- Karolyi, D., D. Rimac, K. Salajpal, K. Kljak, and I. Štoković. 2012. The influence of dietary linseed on alpha-linolenic acid and its longer-chain n-3 metabolites content in pork and back fat. *Veterinarski Arhiv.* 4: 327-339.
- Kouba, M., and J. Mourot. 1999. Effect of feeding linoleic acid diet on lipogenic enzyme activities and on the composition of the lipid fraction of the fat and lean tissues in the pig. *Meat Sci.* 52: 39-45.
- Lisiak, D., E. Grzeskowiak, K. Borzuta, S. Raj, P. Janiszewski, and G. Skiba. 2013. Effects of supplementary vegetable and animal fats on the slaughter values of fatteners, meat quality, and fatty acid profile in pigs. *Czech J. Anim. Sci.* 58: 497-511.
- López, M., J. L. Figueroa, M. J. González, L. A. Miranda, V. Zamora, y J. L. Cordero. 2010. Niveles de lisina y treonina digestible en dietas sorgo-pasta de soya para cerdos en crecimiento. *Arch. Zoot.* 59: 205-216.
- Luo, H. F., H. K. Wie, F. R. Huang, Z. Zhou, S. W. Jiang, and J. Peng. 2009. The effect of linseed on intramuscular fat content and adipogenesis related genes in skeletal muscle of pigs. *Lipids* 44: 999-1010.
- Lyberg, A., E. Fasoli, and P. Adlercreutz. 2005. Monitoring the oxidation of docosahexaenoic acid in lipids. *Lipids* 40: 969-979.
- Mas, G., M. Llavall, D. Coll, R. Roca, I. Diaz, M. A. Oliver, M. E. Gispert, and C. E. Realini. 2011. Effect of an elevated monounsaturated fat diet on pork carcass and meat quality traits and tissue fatty acid composition from York-crossed barrows and gilts. *Meat Sci.* 89: 419-425.
- Masood, A., K. Stark, and N. Salem. 2005. A simplified and efficient method for the analysis of fatty acid methyl esters suitable for large clinical studies. *J. Lipid Res.* 46: 2299-2305.
- Matthäus, B., K. Aitzetmüller, and H. Friederich. 2003. The new database "Seed oil fatty acids" (SOFA). *Grasas y Aceites* 54: 188-193.
- Matthews, K. R., D. B. Homer, F. Thies, and P. C. Calder. 2000. Effect of whole linseed (*Linum usitatissimum*) in the diet of finishing pigs on growth performance and on the quality and fatty acid composition of various tissues. *Brit. J. Nutr.* 83: 637-643.
- Microsoft Excel. 2007. Microsoft Corporation. 1985-2001. USA. Redmond WA, USA.
- National Pork Producers Council (NPPC). 1991. Procedures to evaluate market hogs. 3rd Ed. National Pork Producers Council. Des Moines, IA, USA. 16 p.
- National Research Council (NRC). 2012. Nutrient Requirements Tables and Feed Ingredient Composition. Nutrient Requirements of Swine 11th Ed. National Academy Press, Washington, DC. pp: 208-239.
- Nuernberg, K., K. Fisher, G. Nuernberg, U. Kuechenmeister, D. Klosowska, G. Elmanowska-Wenda, I. Fiedler, and K. Ender. 2005. Effect of dietary olive and linseed oil on lipid composition, meat quality, sensory characteristics and muscle structure in pigs. *Meat Sci.* 70: 63-74.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 1995. Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. SAGARPA. <http://www.senasica.gob.mx/?doc=529> (Consulta: junio 2016).
- Skiba, G., E. Polawska, M. Sobol, S. Raj, and D. Weremko. 2015. Omega-6 and omega-3 fatty acids metabolism pathways in the body of pigs fed diets with different sources of fatty acids. *Arch. Anim. Nutr.* 69: 1-16.
- Statistical Analysis System (SAS). 2010. The SAS system for Windows V8. SAS 9.3 Institute, Cary, NC, USA.

- Tseng, Y. Y., C. J. Cheng, and R. C. Weng. 2000. Effects of dietary fish oil supplement on fatty acid composition and stability of pork meat and meat production. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 13: 126-129.
- Valenzuela, B. R., O. G. Tapia, E. M. González, and B. A. Valenzuela. 2011. Omega-3 fatty acids (EPA and DHA) and its application in diverse clinical situations. *Rev. Chilena Nutric.* 38: 356-367.
- Wojtasik M., S. Raj, G. Skiba, D. Weremko, and M. Czaudera. 2012. The effects of diets enriched in omega-3 fatty acids on carcass characteristics and the fatty acid profile of intramuscular and subcutaneous fat in pigs. *J. Anim. Feed Sci.* 21: 635-647.
- Zhan, Z. P., F. R. Huang, J. Luo, J. J. Dai, X. H. Yan, and J. Peng. 2009. Duration of feeding linseed diet influences expression of inflammation-related genes and growth performance of growing-finishing barrows. *J. Anim. Sci.* 87: 603-611.