



Efectividad del aceite de canola en dietas de cerdos para mejorar el perfil lipídico de la carne



Soni-Guillermo, Eutiquio ^{ad}

José Luis Figueroa-Velasco ^a

María Teresa Sánchez-Torres-Esqueda ^a

José Luis Cordero-Mora ^a

Aleida Selene Hernández-Cázares ^b

José Alfredo Martínez-Aispuro ^a

José M. Fernando Copado-Bueno ^c

María Magdalena Crosby-Galván ^a

^a Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Programa de Ganadería. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México. México.

^b Colegio de Postgraduados. Campus Córdoba. Congregación Manuel León, Municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

^c Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia. Texcoco, Estado de México, México.

^d Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Programa Educativo de Ingeniería Agronómica y Zootecnia. Tlatlauquitepec, Puebla, México.

* Autor de correspondencia: jlfigueroa@colpos.mx

Resumen:

El objetivo de este estudio fue determinar el nivel máximo de inclusión de aceite de canola (AC) en dietas para cerdos en finalización, para incrementar el contenido de ácido oleico y ácidos grasos

insaturados y mejorar la relación $\Omega 6: \Omega 3$ en la carne, sin afectar el comportamiento productivo, características de la canal y fisicoquímicas de la carne. Los tratamientos fueron: la sustitución gradual de aceite de soya (6%) por AC en dietas para cerdos en etapa de finalización I y II (0, 2, 4 y 6% de AC). Las unidades experimentales fueron 48 cerdos machos castrados con peso vivo inicial de 50.00 ± 4.5 kg, evaluados durante cuatro semanas en cada etapa. Con los datos obtenidos se realizó un ANDEVA y se detectaron tendencias lineales o cuadráticas ($P \leq 0.10$). En finalización I la ganancia de peso disminuyó con la inclusión de 2% de AC, aunque la incorporación de 2 y 4% de AC no tuvo efecto. En finalización II, un nivel entre 2-4% de AC redujo el consumo de alimento y mejoró la conversión alimenticia ($P \leq 0.05$). La adición de AC no modificó las características de la canal y no afectó las características fisicoquímicas de la carne ($P \geq 0.10$). El AC en la dieta aumentó la concentración de ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y ácido oleico ($P \leq 0.05$); redujo el ácido linoleico ($P \leq 0.03$), ácidos grasos poliinsaturados ($P \leq 0.07$) y la relación $\Omega 6: \Omega 3$ ($P \leq 0.01$). En conclusión, la adición de AC (2-6%) en la dieta de cerdos en finalización incrementa gradualmente el contenido de ácido oleico y de AGMI, además, mejora la relación $\Omega 6: \Omega 3$ en la carne de cerdo, sin afectar las variables productivas y la calidad de la carne.

Palabras clave: Comportamiento productivo, características de la canal, perfil de ácidos grasos, ácido oleico.

Recibido: 15/01/2020

Aceptado: 06/01/2021

Introducción

La cantidad y la calidad de grasa en la dieta afectan la salud humana⁽¹⁾. La baja ingesta de ácidos grasos saturados (AGS)⁽²⁾, un alto consumo de ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI)⁽³⁾ se relacionan con aspectos benéficos a la salud humana. Así mismo, el consumo de ácidos grasos (AG) $\Omega 3$ representa beneficios potenciales en la salud y prevención de ciertas enfermedades⁽⁴⁾; sin embargo, los patrones de alimentación humana han conllevado a un menor consumo, ocasionando una inapropiada relación con los AG $\Omega 6$ ⁽⁵⁾. Por otra parte, el consumo de ácido oleico ha mostrado efectos positivos en la salud previniendo enfermedades humanas^(6,7). Debido a lo anterior, es importante el consumo de alimentos que permitan mejorar el perfil de ácidos grasos dietarios de las personas⁽⁸⁾.

La cantidad y composición de los ácidos grasos en la dieta del cerdo se refleja y cambia la composición lipídica en la carne⁽⁹⁾. En la nutrición porcina, las prácticas de alimentación típicas (cereales-pasta de soya) le dan una alta proporción de AGPI y una alta relación AG $\Omega 6: \Omega 3$ a la

carne⁽¹⁰⁻¹³⁾. Para cambiar el perfil y mejorar las relaciones entre AG es necesario suministrar componentes alimenticios con un perfil graso afín al objetivo que persigamos^(14,15).

El uso de aceite de canola (AC) en la dieta de cerdos parece ser una buena fuente lipídica de AGMI y AGPI, debido a que está compuesto principalmente por los ácidos grasos oleico (59.8 %), linoleico (20.6 %), linolénico (8.49 %) y una apropiada relación de AG $\Omega 6:\Omega 3$ ⁽¹⁶⁾. Sin embargo, una mayor proporción de AGM y AGPI podría tener una influencia negativa en las propiedades tecnológicas de la carne de cerdo y su estabilidad oxidativa, así como en las características sensoriales⁽¹⁾.

Algunos trabajos^(17,18,19) han explorado la posibilidad de utilizar el AC (2-4 %) en la nutrición porcina como fuente de AG insaturados en la carne, sin afectar el comportamiento productivo y las características fisicoquímicas de la carne. En general, se observa que la inclusión de AC en la dieta aumenta el contenido de ácido oleico, linolénico y AGMI, reduce la concentración de ácido linoleico, AGPI, y mejora la relación $\Omega 6:\Omega 3$ en la carne.

Teniendo en cuenta que el perfil de los ácidos grasos ingeridos puede alterar el desarrollo del tejido adiposo del cerdo y depositarse directamente en la grasa corporal, el objetivo de este estudio fue determinar el nivel máximo de inclusión de AC en dietas para cerdos en finalización para incrementar el contenido de ácido oleico, ácidos grasos insaturados y mejorar la relación $\Omega 6:\Omega 3$ en la carne, sin afectar el comportamiento productivo, características de la canal y fisicoquímicas de la carne.

Material y métodos

El estudio se realizó en la Unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, ubicada en Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México, localizada a 98° 48' 27" O y a 19° 48' 23" N y una altitud de 2,241 msnm, con clima templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 15.2 °C y precipitación media anual de 644.8 mm⁽²⁰⁾.

Animales y dietas experimentales

Los tratamientos (Tr) consistieron en la sustitución gradual de aceite de soya (6%) por AC en dietas para cerdos en etapa de finalización I (50-75 kg de peso) y finalización II (75-100 kg de peso): 0, 2, 4 y 6% de AC (Cuadro 1). Las unidades experimentales fueron 48 cerdos híbridos (Landrace×Yorkshire×Pietrain) machos castrados (12 animales por tratamiento en ambas etapas), con peso vivo inicial (PVI) promedio de 50.00 ± 4.5 kg evaluados durante cuatro semanas en cada etapa, distribuidos en un diseño completamente al azar. Los cerdos se alojaron en corrales

individuales equipados con comedero tipo tolva y bebedero de chupón. Las dietas se formularon con el comando *Solver*⁽²¹⁾, de acuerdo a los requerimientos sugeridos por el NRC⁽²²⁾ para las dos etapas (Cuadro 1). Para la dieta de cerdos de 75 a 100 kg se adicionó ractopamina (10 mg kg⁻¹) en todos los tratamientos, por lo cual se consideró la concentración de nutrientes recomendados por el NRC⁽²²⁾ cuando se utiliza dicho aditivo.

Cuadro 1: Dietas experimentales para cerdos en finalización

Ingrediente (%)	Finalización I (aceite de canola %)				Finalización II (aceite de canola %)			
	0	2	4	6	0	2	4	6
	Sorgo	62.19	62.49	62.80	63.10	66.19	66.52	66.84
Pasta de soya	14.53	14.48	14.44	14.40	10.08	10.01	9.94	9.87
Salvado de trigo	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Aceite de soya	6.00	4.00	2.00	0.00	6.00	4.00	2.00	0.00
Aceite de canola	0.00	2.00	4.00	6.00	0.00	2.00	4.00	6.00
Carbonato de calcio	0.54	0.54	0.54	0.55	1.01	1.01	1.01	1.01
Ortofosfato	0.94	0.94	0.93	0.93	0.21	0.21	0.21	0.20
Arena	4.40	4.14	3.88	3.62	4.65	4.39	4.13	3.87
Vitaminas y minerales ^{A, B}	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Lisina	0.62	0.62	0.62	0.62	0.70	0.70	0.70	0.70
Metionina	0.04	0.04	0.04	0.04	0.09	0.09	0.09	0.09
Sal	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Treonina	0.09	0.09	0.09	0.09	0.20	0.20	0.20	0.20
Triptófano	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.22	0.22	0.22
	Aporte nutricional (%)							
EM (Mcal/kg)	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
PC	14.87	14.88	14.89	14.90	13.50	13.50	13.50	13.50
Arginina	0.77	0.77	0.77	0.77	0.64	0.64	0.64	0.64
Lisina	0.85	0.85	0.85	0.85	0.93	0.93	0.93	0.93
Metionina+Cistina	0.41	0.41	0.41	0.41	0.42	0.42	0.42	0.42
Treonina	0.52	0.52	0.52	0.52	0.57	0.57	0.57	0.57
Triptófano	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16
Valina	0.66	0.66	0.66	0.66	0.56	0.56	0.56	0.56
Calcio total	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Fósforo total	0.45	0.45	0.45	0.45	0.30	0.30	0.30	0.30

^A Proporcionó por kilo de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D3, 2,500 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. ^B 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.

Variables de respuesta y características de la canal

Las variables de respuesta estudiadas en ambas etapas experimentales 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) y características de la canal (grasa dorsal, GD; porcentaje de carne magra, %CM; área del músculo *Longissimus dorsi*, AML). La GD y AML se midieron 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 el peso vivo inicial y final se calculó la GCM utilizando la ecuación del National Pork Producers Council⁽²³⁾.

Características fisicoquímicas

Al final de la segunda etapa experimental se seleccionaron al azar y sacrificaron cinco cerdos por tratamiento (alrededor de 100 kg de peso vivo). El sacrificio se realizó en el rastro de la granja experimental, cumpliendo con la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014⁽²⁴⁾. Se obtuvo una muestra de carne de pierna (*Biceps femoris*) y una muestra de carne de lomo (*Longissimus dorsi*) de cada animal, y se procedió a medir pH, color, capacidad de retención de agua y textura. Las muestras de carne se mantuvieron en refrigeración a 4 °C. Parte de las muestras se congelaron, hasta la determinación de ácidos grasos.

La determinación del color se midió a las 24 h *post mortem*, utilizando un colorímetro portátil (Hunter Lab, Chroma meter CR-410, Konica Minolta Sensing, Inc. Japan). Se calibró con el color blanco en tres diferentes puntos sobre el área superficial de la pierna y el lomo del cerdo (en una muestra de carne de 15 mm de espesor) para medir las variables luminosidad (L*), rojo (a*) y amarillo (b*)⁽²⁵⁾.

El pH se midió directamente en el músculo de la pierna (*Biceps femoris*) y lomo (*Longissimus dorsi*) a las 24 h *post mortem* con un potenciómetro portátil de punción (Modelo pH1100, Hanna® México)⁽²⁶⁾.

La capacidad de retención de agua (CRA)⁽²⁶⁾ se realizó 24 h *post mortem*: se pesaron 2 g de carne de pierna y lomo finamente picada, se colocaron en un tubo de centrifuga, se homogeneizaron las muestras con 5 ml de una solución 0.6 M de cloruro de sodio y se agitaron en un vortex (1,000 rpm) durante un minuto. Las muestras se dejaron reposar durante 30 min en un refrigerador a 4 °C y posteriormente se centrifugaron durante 15 min a 3500 g (centrifugadora Beckman J-MI). El sobrenadante fue decantado y medido en una probeta. El volumen retenido de agua destilada se reporta como la cantidad de agua retenida en 100 g de carne. Las mediciones se hicieron por triplicado, las medidas promedio fueron calculadas y registradas.

La determinación de la textura se realizó 24 h *post mortem*; se tomaron muestras de carne de pierna y lomo, se utilizó un analizador de textura TA-XT2 (Textura Technologies Corp., Scarsdale, NY) con una navaja de Warner-Bratzler. Se cortaron cubos de carne cruda de 1 cm³, se colocaron con las fibras del músculo transversalmente al filo de la navaja, usando el registro de la fuerza máxima para cortar y la fuerza conocida⁽²⁷⁾. Las mediciones se hicieron por triplicado, las medidas promedio fueron calculadas y registradas.

Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos en carne se determinó con base al método descrito por Folch *et al*⁽²⁸⁾. Para la determinación del perfil de ácidos grasos se utilizó el cromatógrafo HP® (Modelo 6890) estándar de ésteres metílicos Supelco 37 (Component FAME Mix Catalogo N0.47885-U), con una columna Supelco (SPTM- 2660 FUSED SILICA Capillary Column, 100 m x 0.25 mm x 0.2 µm film thickness). Como gas portador se utilizó helio a 0.8 ml/min; la inyección de muestras fue de 1 µl en modo Split 1:10 manualmente, con una rampa de temperatura inicial de 140 °C por 1.00 grado min⁻¹, con un incremento a 3 °C min⁻¹ a una temperatura de 210 °C, y un decremento de 0.7 grados min⁻¹ y una temperatura final de 235 °C. El tiempo total para analizar cada muestra fue de 60 min.

Análisis estadístico

Para las dos etapas experimentales se utilizó un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y doce repeticiones en cada uno, considerando cada cerdo como una unidad experimental para evaluar el comportamiento productivo. Para el perfil de ácidos grasos y características fisicoquímicas de la carne, cinco cerdos de cada tratamiento se seleccionaron al azar al final de la segunda fase experimental. Cuando los cerdos fueron sacrificados, se tomó una muestra de pierna y de lomo de cada animal. Las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene se usaron para verificar la distribución normal y la homogeneidad de la varianza de las variables. Con los datos obtenidos se realizó un ANDEVA mediante el procedimiento GLM y para detectar tendencias lineales y cuadráticas en respuesta a la inclusión de aceite de canola en la dieta se usaron polinomios ortogonales ($P \leq 0.10$)⁽²⁹⁾. El PVI se utilizó como covariable para CAL, GDP, PVF, CA y GCM ($P \leq 0.10$). Mientras que, para la GD, AML y %CM se utilizaron sus respectivas mediciones iniciales como covariable ($P \leq 0.10$).

Resultados

Los resultados de respuesta productiva y de características de la canal se muestran en el Cuadro 2. En finalización I (50-75 kg PV) la GDP y el PVF mostraron una tendencia cuadrática ($P=0.08$),

disminuyendo con la inclusión de 2% de AC en la dieta; la incorporación de 4 y 6% de AC no tuvo efecto negativo. El resto de las variables en la etapa de finalización I no fueron modificadas debido a la sustitución de aceite de soya por aceite de canola ($P>0.10$). Para finalización II, el CAL se comportó de manera cuadrática ($P=0.03$) reduciéndose con un nivel entre 2 y 4% de AC sin afectar la GDP y el PVF, lo que conllevó a que se mejorara la CA ($P=0.05$) con estos mismos niveles de AC. En finalización II la grasa dorsal se redujo linealmente ($P=0.01$) y el porcentaje de CM aumentó linealmente ($P=0.05$) en respuesta a la inclusión de AC en la dieta. Para el resto de las variables no hubo efecto ($P>0.10$) al sustituir aceite de soya por AC en ambas etapas.

Cuadro 2: Comportamiento productivo de cerdos en finalización alimentados con cuatro niveles de aceite de canola en la dieta

	Finalización I							Finalización II						
	Aceite de canola (%)				Valor P			Aceite de canola (%)				Valor P		
	0	2	4	6	EE	L	C	0	2	4	6	EE	L	C
CAL, kg d ⁻¹	2.66	2.47	2.54	2.59	0.10	0.77	0.24	3.06	2.82	2.92	3.08	0.09	0.72	0.03
GDP, kg d ⁻¹	0.71	0.63	0.69	0.67	0.02	0.53	0.08	0.84	0.84	0.85	0.81	0.03	0.55	0.52
PVF	73.41	70.95	72.62	72.30	0.58	0.52	0.08	96.20	96.14	96.51	95.32	0.85	0.54	0.52
CA	3.74	3.97	3.71	3.85	0.13	0.87	0.73	3.64	3.39	3.45	3.90	0.18	0.29	0.05
GCM, kg d ⁻¹	0.27	0.24	0.26	0.26	0.01	0.62	0.29	0.26	0.27	0.29	0.27	0.01	0.44	0.40
GD, mm	10.61	10.39	10.57	10.77	0.48	0.77	0.66	15.34	14.53	13.78	13.31	0.60	0.01	0.75
AML, cm ²	28.05	27.19	27.88	27.66	0.72	0.88	0.66	32.72	32.71	33.56	33.58	0.94	0.92	0.61
% CM	39.27	39.33	39.21	39.36	0.28	0.90	0.89	37.01	37.21	37.65	37.59	0.24	0.05	0.62

CAL= consumo de alimento, GDP= ganancia diaria de peso, PVF= Peso vivo final, CA= conversión alimenticia, GCM= ganancia de carne magra, GD=grasa dorsal, AML= área de músculo *Longissimus*, CM= carne magra, EE= error estándar de la media, L= efecto lineal, C= efecto cuadrático.

Los resultados de las características fisicoquímicas de la carne en pierna y lomo se presentan en el Cuadro 3. Para color, CRA y textura no se encontraron diferencias significativas ($P>0.10$) por efecto de los niveles de AC, a excepción de L* ($P=0.03$) que se incrementó en la carne de lomo al utilizar 2-4% de AC. En pierna y lomo, el pH tendió a reducirse ($P=0.01$) conforme se incrementó la concentración de AC en la dieta.

Cuadro 3: Características fisicoquímicas de la carne de cerdos en finalización 75-100 kg, alimentados con cuatro niveles de aceite de canola

	Carne de pierna							Carne de lomo						
	Aceite de canola (%)				Valor P			Aceite de canola (%)				Valor P		
	0	2	4	6	EE	L	C	0	2	4	6	EE	L	C
pH	6.74	5.43	5.44	5.70	0.10	0.01	0.01	6.64	5.63	5.49	5.69	0.20	0.01	0.01
L*	45.38	46.54	46.20	47.52	1.60	0.41	0.96	55.98	58.84	56.24	54.10	1.71	0.92	0.03

a*	19.44	19.78	19.56	19.40	0.52	0.89	0.64	17.24	16.86	17.62	16.84	0.51	0.84	0.70
b*	4.36	4.54	4.00	4.94	0.53	0.62	0.49	6.04	9.38	5.80	5.22	1.21	0.28	0.12
CRA, ml/g	0.89	0.99	0.86	0.87	0.13	0.96	0.84	0.89	0.87	0.88	0.86	0.15	0.95	0.83
Textura, g	1225	1318	1294	1443	155	0.38	0.86	1791	1406	1446	1445	222	0.34	0.39

L*= luminosidad; a*= índice rojo; b*= índice amarillo; CRA= capacidad de retención de agua, EE= Error estándar de la media, L= efecto lineal, C= efecto cuadrático.

En el Cuadro 4 se muestran los resultados del perfil lipídico de la carne de pierna y lomo. En ambas muestras el ácido mirístico ($P=0.01$) y palmítico ($P=0.06$ y $P=0.01$ respectivamente) presentaron una tendencia cuadrática, observándose una reducción con 2% de AC. Tanto en pierna como en lomo se incrementó linealmente la concentración de ácido oleico ($P=0.01$) y el ácido linoleico se redujo ($P=0.03$ y $P=0.01$ respectivamente) en respuesta al incremento del AC dietario. El contenido de ácido linolénico en la carne no fue modificado ($P>0.10$); sin embargo, la relación $\Omega 6: \Omega 3$ se redujo linealmente ($P=0.01$) en la carne de pierna al sustituir aceite de soya por AC. El total de AGS en pierna y lomo se redujo ($P=0.06$ y $P=0.01$ respectivamente) con 2% de AC, aunque los otros niveles de AC no modificaron la concentración de estos ácidos grasos. En pierna y el lomo los AGMI aumentaron linealmente ($P\leq 0.01$) y los AGPI se redujeron ($P=0.07$ y $P=0.01$ respectivamente) linealmente por efecto de la inclusión de AC en la dieta.

Cuadro 4: Perfil de ácidos grasos de carne de cerdo en finalización, alimentados con cinco niveles de aceite de canola

Ácido graso	Carne de pierna						Carne de lomo							
	Aceite de canola (%)					Valor P	Aceite de canola (%)					Valor P		
	0	2	4	6	EE		L	C	0	2	4		6	EE
Mirístico	1.99	1.28	1.41	1.79	0.19	0.56	0.01	2.04	1.35	1.51	1.93	0.19	0.84	0.01
Palmítico	24.80	22.37	23.25	23.22	0.65	0.18	0.06	26.17	23.17	24.56	24.39	0.54	0.09	0.01
Esteárico	11.94	10.17	11.24	10.79	0.58	0.37	0.27	12.53	10.67	11.83	11.48	0.60	0.43	0.21
Σ AGS	38.73	33.82	35.9	35.8	1.14	0.23	0.06	40.74	35.19	37.9	37.8	1.07	0.17	0.01
Palmitoleico	3.07	3.09	2.67	3.17	0.26	0.92	0.34	3.28	3.31	3.49	3.40	0.20	0.55	0.78
Oleico	39.90	42.07	42.86	45.09	1.13	0.01	0.98	40.49	45.06	45.23	46.45	0.86	0.01	0.07
Eicosaenoico	0.53	0.72	0.68	0.74	0.09	0.11	0.44	0.60	0.69	0.63	0.60	0.06	0.82	0.35
Σ AGMI	43.5	45.88	46.21	49.0	1.21	0.01	0.86	44.37	49.06	49.35	50.45	0.94	0.01	0.09
Araquidónico	1.08	1.35	1.28	1.03	0.10	0.79	0.12	0.84	0.93	0.76	0.93	0.13	0.86	0.73
Linoleico	14.75	16.36	14.41	11.63	1.07	0.03	0.05	12.26	12.84	10.39	8.94	1.02	0.01	0.31
Linolénico	1.38	1.83	1.59	1.73	0.15	0.22	0.27	1.33	1.42	1.15	1.21	0.15	0.30	0.87
Eicosadienoico	0.55	0.74	0.60	0.55	0.10	0.77	0.20	0.45	0.53	0.43	0.27	0.11	0.21	0.28
Σ AGPI	17.76	20.28	17.88	14.94	1.17	0.07	0.04	14.88	15.72	12.73	11.35	1.19	0.01	0.32
$\Omega 6: \Omega 3$	12.04	10.19	10.54	7.64	0.69	0.01	0.48	10.57	10.22	10.65	8.65	1.21	0.29	0.47

AGS=ácidos grasos saturados, AGMI= ácidos grasos monoinsaturados, AGPI= ácidos grasos poliinsaturados, L=efecto lineal, C=efecto cuadrático.

Discusión

El comportamiento cuadrático de la GDP y el PVF no tiene una explicación clara, ya que, las dietas fueron formuladas isoenergéticas e isoproteicas, suponiendo que los valores de energía y nutrientes en general para cada dieta y fuente de aceite⁽²²⁾ fueron apropiados para la etapa productiva, y por lo tanto se esperaría una respuesta similar en las variables productivas. De acuerdo con algunos autores^(10,13,30) al evaluar diferentes fuentes de grasa (aceite de soya, palma, oliva y lino) en dietas isocalóricas para cerdos en finalización, no encontraron efecto negativo en el comportamiento productivo y características de la canal.

El cambio en el perfil lipídico de la dieta al sustituir 2% de aceite de soya por AC fue marginal considerando que en las dietas donde no se afectó el comportamiento productivo la sustitución fue de 4 y 6%, modificando en mayor grado el perfil de ácidos grasos. Por lo cual se esperaría un cambio en la respuesta productiva (negativo o positivo) al utilizar una mayor cantidad de AC en la dieta. A diferencia de lo obtenido en la presente investigación, estudios en cerdos en etapa de finalización^(19,31,32) reportan que la inclusión de AC (4, 3, 2.5 y 3.5 % respectivamente en cada uno de los trabajos) en sustitución de otros aceites de origen vegetal (soya o maíz) o grasa animal, no afectaron los parámetros productivos, siempre y cuando se respetara la concentración de nutrientes en las dietas, haciendo énfasis principalmente en la energía. Más aún, al evaluar niveles de AC de 0, 5 y 10%, existió un efecto lineal a mejorar el consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia en cerdos de crecimiento-finalización, además no hubo efecto en la grasa dorsal y el AML⁽³³⁾.

En el presente trabajo se supuso que, al no alterar la concentración general de nutrientes, pero sí la de algunos ácidos grasos, las características fisicoquímicas de la carne podrían tener alteraciones mínimas. Esta suposición fue respaldada por estudios realizados con la adición de 2.5-4% de AC en la dieta de cerdos sobre las características de la carne, en donde se informa que la inclusión de AC no tuvo efecto negativo^(18,19,31). De hecho, otros investigadores⁽¹⁶⁾ encontraron que la inclusión de 2% de AC en la dieta de cerdos aumentó el pH, favoreció las características sensoriales y el marmoleo de la carne, en comparación a dietas sin la adición de aceite. Aunque el uso de concentraciones muy elevadas (10%) de AC en la dieta afectó el marmoleado y el color de la carne, además, redujo la firmeza de grasa⁽³³⁾, probablemente porque ese nivel de adición de aceite en la dieta aporta demasiados ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, que se depositan en tejido adiposo y muscular, lo que cambia las características de la carne y de la grasa.

En la presente investigación, el aumento de AC redujo el pH, tendiendo a alcanzar los valores de pH máximos y mínimos (5.4-5.8)⁽³⁴⁾. En este intervalo *post rigor* de la carne indican que no ha iniciado la producción de compuestos de putrefacción, como aminos biogénicos, aldehídos, cetonas

y ácidos grasos de cadena corta, ya que el pH depende de la relación tiempo: temperatura *postmortem*, en consecuencia, se generan compuestos químicos que hacen que aumente el pH⁽³⁴⁾. La textura en pierna y lomo tampoco se afectó por los diferentes tratamientos, debido probablemente a que los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga se incorporaron al tejido graso y no al muscular, ya que la dureza de la carne se debe a las estructuras de las fibras musculares formadas en un alto porcentaje por proteínas, por lo que los ácidos grasos poliinsaturados no afectaron la dureza de la carne al no incorporarse notablemente lípidos a las fibras musculares⁽³⁵⁾. Respecto a la variable CRA, de igual manera no se afectó en pierna y lomo por los diferentes tratamientos; esto se explica probablemente porque al adicionar ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga a dietas para no rumiantes, existe un aumento en la relación de ácidos grasos saturados:insaturados en la grasa del cerdo, ya que entre mayor sea el grado de insaturación, menor es la cantidad de cargas eléctricas que puedan interactuar con el agua⁽³⁶⁾.

La disminución de los ácidos linoleico y AGPI, y el aumento de ácidos oleico y AGMI conforme se incrementó el nivel de AC, coincide con los resultados obtenidos en otros trabajos al adicionar desde 3 hasta 10% de AC^(3,19,33). En reportes previos^(3,19,31) no encontraron cambios en el contenido del ácido mirístico y AGS al sustituir algún tipo de aceite por AC, contrario a lo encontrado en el presente estudio; sin embargo, sí se observó la reducción del ácido palmítico al adicionar desde 4 hasta 10% de AC^(3,33).

La suplementación de 3-4% de AC en sustitución por aceite de soya en dietas para cerdos en etapa de finalización aumentó el contenido de ácidos oleico, linoléico y AGMI, redujo la concentración de ácido linoleico, AGPI, total de $\Omega 6$ y la relación $\Omega 6: \Omega 3$ en la grasa de la carne^(3,19). Al adicionar 5 o 10% de AC en dietas para cerdos en finalización se incrementaron linealmente los ácidos oleico, linoleico, linoléico, AGMI y AGPI, y se redujo el ácido palmítico en la grasa de la carne en comparación con dietas sin aceite⁽³³⁾. El AC (2.5%) en dietas para cerdos en finalización aumenta el contenido de ácido oleico y AGM, reduce la cantidad de ácido linoleico y AGP en la grasa corporal⁽³¹⁾, aumenta el contenido de ácido linoléico y se mejora la estabilidad oxidativa en la carne^(17,18,31) en comparación con el aceite de maíz.

Otra posible opción para tratar de mejorar el perfil lipídico de la carne de cerdo sería utilizar distintos tipos de aceite, ya que en algunas investigaciones^(19,37) han encontrado que la combinación de AC (1-1.5%) con aceite de linaza (1.5-2.3%) tiene una respuesta favorable en el perfil de ácidos grasos en la carne, ya que aumentan los ácidos oleico, linoléico y AGMI, disminuyen los ácidos linoleico, AGPI, total de $\Omega 6$ y la relación de $\Omega 6: \Omega 3$.

Los resultados del presente trabajo muestran que se modifica el perfil de ácidos grasos en la carne de cerdo en función del contenido de AG en la fuente de aceite de la dieta; ya que el AC y el aceite

de soya poseen perfiles distintos de ácidos grasos⁽²²⁾ con un predominio de ácidos grasos insaturados oleico y linoleico, respectivamente.

En cerdos, el perfil de ácidos grasos de la dieta se refleja en la grasa corporal, porque parte de los ácidos grasos ingeridos se deposita directamente en los tejidos^(30,38,39). El grado de cambio de los ácidos grasos corporales depende del tiempo y del porcentaje de suplementación de grasas en la dieta^(40,41). Los ácidos grasos específicos tienen diferentes tasas o potencial de cambio en la grasa corporal inducida por la suplementación de grasas en la dieta^(12,19,38). Además, el suministro de grasas en la dieta reduce la lipogénesis^(42,43), por ende, un aumento de la incorporación de ácidos grasos de la dieta en la grasa corporal.

Conclusiones e implicaciones

La inclusión de aceite de canola (2-6%) en la dieta de cerdos en etapa de finalización es efectivo para incrementar proporcionalmente el contenido de ácido oleico, mejorar la relación $\Omega 6:\Omega 3$, reducir el contenido de ácidos grasos saturados e incrementar los ácidos grasos monoinsaturados en la carne. Además, el uso de hasta 6% de aceite de canola en la dieta no afecta el comportamiento productivo, características de la canal y estabiliza positivamente el pH de la carne.

Agradecimientos y conflicto de interés

Agradecimientos al Colegio de Postgraduados por el financiamiento a este trabajo. Los autores declaran no tener conflicto de interés con respecto al presente trabajo.

Literatura citada:

1. Jasinska K, Kurek A. The effect of oil plants supplementation in pig diet on quality and nutritive value of pork meat. *Anim Sci Pap Rep* 2017;35(2):137-146.
2. Clarke R, Frost C, Collins R, Appleby P, Peto R. Dietary lipids and blood cholesterol: Quantitative meta-analysis of metabolic ward studies. *Br Med J* 1997;314(7074):112-117.
3. Vehovsky K, Stupka R, Zadinova K, Sprysl M, Okrouhla M, Lebedova N, *et al.* Effect of dietary rapeseed and soybean oil on growth performance, carcass traits, and fatty acid composition of pigs. *R Bras Zootec* 2019;48:e20180131.
4. Saini RK, Keum YS. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance- A review. *Life Sci* 2018;203:255-267.

5. Simopoulos AP. Evolutionary aspects of diet, the omega-6/omega-3 ratio and genetic variation: nutritional implications for chronic diseases. *Biomed Pharmacother* 2006;60(9):502-507.
6. Sales-Campos H, Reis SP, Crema PB, Santana SJ, Ribeiro CC. An overview of the modulatory effects of oleic acid in health and disease. *Mini Rev Med Chem* 2013;13(2):201-210.
7. Karacor K, Cam M. Effects of oleic acid. *Medical Sci Discovery* 2015;2(1):125-132.
8. Castellanos L, Rodriguez M. El efecto de omega 3 en la salud humana y consideraciones en la ingesta. *Rev Chil Nutr* 2015;42(1):90-95.
9. Skiba G, Polawska E, Sobol M, Raj S, Weremko D. 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* 2015;69(1):1-16.
10. Teye GA, Sheard PR, Whittington FM, Nute GR, Stewart A, Wood JD. Influence of dietary oils and protein level on pork quality. 1. Effects on muscle fatty acid composition, carcass, meat and eating quality. *Meat Sci* 2006;73(1):157-165.
11. Apple JK, Maxwell CV, Galloway DL, Hamilton CR, Yancey JWS. Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: II. Fatty acid composition of subcutaneous fat. *J Anim Sci* 2009;87(4):1423-1440.
12. Apple JK, Maxwell CV, Galloway DL, Hamilton CR, Yancey JWS. Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: III. Carcass and fatty acid compositions. *J Anim Sci* 2009;87(4):1441-1454.
13. Benz JM, Tokach MD, Dritz SS, Nelssen JL, DeRouchey JM, Sulabo RC, *et al.* Effects of choice white grease and soybean oil on growth performance, carcass characteristics, and carcass fat quality of growing-finishing pigs. *J Anim Sci* 2011;89(2):404-413.
14. Dugan ME, Vahmani P, Turner TD, Mapiye C, Juárez M, Prieto N, *et al.* Pork as a source of omega-3 (n-3) fatty acids. *J Clin Med* 2015;4(12):1999-2011.
15. Leikus R, Juskiene V, Juska R, Juodka R, Stankeviciene D, Nainiene R, *et al.* Effect of linseed oil sediment in the diet of pigs on the growth performance and fatty acid profile of meat. *R Bras Zootec* 2018;47:e20170104.
16. Kolacz R, Korniewicz A, Dobrzański Z, Bykowski P, Kolacz D, Korniewicz D. Effect of dietary fish and rapeseed oils on sensory and physicochemical characteristics of pigs *M. Longissimus dorsi* and fatty acid composition. *J Anim Feed Sci* 2004;13(143):143-152.

17. Corino C, Magni S, Pagliarini E, Rossi R, Pastorelli G, Chiesa LM. Effects of dietary fats on meat quality and sensory characteristics of heavy pig. *Meat Sci* 2002;60(1):1-8.
18. Pastorelli G, Magni S, Rossi R, Pagliarini E, Baldini P, Dirinck P, *et al.* Influence of dietary fat, on fatty acid composition and sensory properties of dry-cured Parma ham. *Meat Sci* 2003;65(1):571-580.
19. Bertol TM, De Campos RML, Ludke JV, Terra NN, De Figueiredo EAP, Coldebella A, *et al.* Effects of genotype and dietary oil supplementation on performance, carcass traits, pork quality and fatty acid composition of backfat and intramuscular fat. *Meat Sci* 2013;93(3):507-516.
20. García E. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen. 5a ed. México DF: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México; 2004.
21. Microsoft Excel. Microsoft Corporation. 1985-2001. Redmond WA, USA. 2007.
22. NRC. National Research Council. Nutrient requirements tables and feed ingredient composition. Nutrient requirements of swine. 11th ed. Washington, DC, USA: National Academy Press; 2012.
23. Burson D, Berg E. Procedures for estimating pork carcass composition. Pork quality facts. Des Moines, IA, USA: National Pork Producers Council; 2001.
24. SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. México. 2014. En: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5405210&fecha=26/08/2015 Consultado 26 Nov, 2019.
25. Mancini RA, Hunt M. Current research in meat color. *Meat Sci* 2005;71(1):100-121.
26. Braña VD, Ramírez RE, Rubio LMS, Sánchez EA, Torrescano UA, Arenas MML, *et al.* Manual de análisis de calidad en muestras de carne. 1er ed. Querétaro, México. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal; 2011.
27. Guerrero LI, Ponce AE, Pérez ML. Curso práctico de tecnología de carnes y pescado. México DF: Universidad Metropolitana, Unidad Iztapalapa; 2002.
28. Folch J, Lees M, Sloane SGH. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 1957;226:497-509.
29. SAS. SAS/STAT User's Guide (9.4) Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 2010.

30. Olivares A, Daza A, Rey AI, Lopez-Bote CJ. Interactions between genotype, dietary fat saturation and vitamin A concentration on intramuscular fat content and fatty acid composition in pigs. *Meat Sci* 2009;82(1):6-12.
31. Rossi R, Corino C. Influence of long-term nutrition with different dietary fats on fatty acid composition of heavy pigs backfat. *Ital J Anim Sci* 2002;1(1):7-16.
32. De Sousa RV, Ribeiro O, Zangeronimo MG, De Sousa VC, Da Silva MSF, Pereira LJ. Total cholesterol and its fractions in the blood of finishing pigs fed diets with different levels of canola oil. *Acta Sci Vet* 2013;41(1):1-6.
33. Myer RO, Lamkey JW, Walker WR, Brendemuhl JH, Combs GE. Performance and carcass characteristics of swine when fed diets containing canola oil and added copper to alter the unsaturated:saturated ratio of pork fat. *J Anim Sci* 1992;70(5):1417-1423.
34. Guerrero LI. Meat spoilage detection. In Nollet L, Toldrá F editors. *Handbook of processed meat and poultry analysis*. Boca Raton, Florida USA: CRC Pres; 2009:445-460.
35. Pérez MI, Larrea V, Quiles A, Llunch MA. Microstructure of muscle foods. In: Nollet L, Toldrá F, editors. *Handbook of processed meat and poultry analysis*. Boca Raton, Florida USA: CRC Pres; 2009:335-352.
36. Lo Fiego DP, Macchioni P, Santero P, Pastorelli G, Corino CC. Effect of dietary conjugated linoleic acid (CLA) supplementation on CLA isomers content and fatty acid composition of dry-cured Parma ham. *Meat Sci* 2005;70(2):285-291.
37. Lisiak D, Grzeskowiak E, Borzuta K, Raj S, Janiszewski P, Skiba G. 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* 2013;58(11):497-511.
38. Apple JK, Maxwell CV, Galloway DL, Hutchison S, Hamilton CR. Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: I. Growth performance and *Longissimus* muscle fatty acid composition. *J Anim Sci* 2009;87(4): 1407-1422.
39. Juárez M, Dugan MER, Aldai N, Aalhus JL, Patience JF, Zijlstra RT, *et al.* Feeding co-extruded flaxseed to pigs: Effects of duration and feeding level on growth performance and backfat fatty acid composition of grower-finisher pigs. *Meat Sci* 2010;84(3):578-584.
40. Romans JR, Wulf DM, Johnson RC, Libal GW, Costello WJ. Effects of ground flaxseed in swine diets on pig performance and on physical and sensory characteristics and omega-3 fatty acid content of pork: II. Duration of 15% dietary flaxseed. *J Anim Sci* 1995;73(7):1987-1999.

41. Kouba M, Enser M, Whittington FM, Nute GR, Wood JD. Effect of a high-linolenic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pig. *J Anim Sci* 2003;81(8):1967-1979.
42. Allee GL, Baker DH, Leveille GA. Influence of level of dietary fat on adipose tissue lipogenesis and enzymatic activity in the pig. *J Anim Sci* 1971;33(6):1248-1254.
43. Smith DR, Knabe DA, Smith SB. Depression of lipogenesis in swine adipose tissue by specific dietary fatty acids. *J Anim Sci* 1996;74(5):975-983.