



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

**DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA ADICIONADAS CON ÁCIDO LINOLEICO
CONJUGADO O ACEITE DE SOYA ACIDULADO PARA CERDOS EN ENGORDA**

MANUEL MARTÍNEZ AISPURO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO.

2009

La presente tesis titulada: **Dietas bajas en proteína adicionadas con ácido linoleico conjugado o aceite de soya acidulado para cerdos en engorda**, realizada por el alumno: **Manuel Martínez Aispuro**, bajo la dirección del Consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERIA**

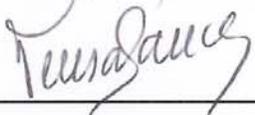
CONSEJO PARTICULAR:

Consejero



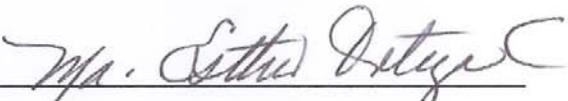
Dr. José Luis Figueroa Velasco

Asesor



Dra. Ma. Teresa Sánchez-Torres Esqueda

Asesor



Dra. María Esther Ortega Cerrilla

Asesor



Dr. Sergio S. González Muñoz

Asesor



Dr. Agustín Ruiz Flores

Montecillo, Texcoco, Estado de México, octubre de 2009.

DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA ADICIONADAS CON ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO O ACEITE DE SOYA ACIDULADO PARA CERDOS EN ENGORDA

Manuel Martínez Aispuro, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2009

Reducir la concentración de proteína en las dietas de cerdos adicionando aminoácidos sintéticos mantiene la respuesta productiva, pero la carne tiene un mayor contenido de grasa. El uso de distinto aceite en la dieta de cerdos puede modificar este aspecto; además, de cambiar el contenido de ácidos grasos en la carne por aumento en el consumo de ácidos grasos que no son sintetizados por los cerdos. Se realizaron tres experimentos para evaluar dietas bajas en proteína y distinta fuente de aceite (aceite crudo de soya "ACS", ácido linoleico conjugado "ALC" y aceite de soya acidulado "ASA") en cerdos de engorda. El experimento 1 y 2 fueron pruebas de comportamiento productivo y evaluación de las características de la canal en las dietas de inicio, crecimiento y finalización; en el experimento 3 se realizó el análisis del contenido de ácidos grasos y total de lípidos en muestras de carne de los cerdos del Exp. 1 y 2. Los cerdos utilizados se distribuyeron en diseños completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos, utilizando machos castrados (Yorkshire×Landrace), alimentados *ad libitum* y alojados individualmente. En el Exp. 1, la reducción en el contenido de proteína afectó la respuesta productiva, las características de la canal y reduce la urea plasmática ($P \leq 0.05$); la adición de 1 % ácido linoleico conjugado no afectó las variables analizadas ($P > 0.05$). En el Exp 2, la reducción en la proteína no afectó el comportamiento productivo ($P > 0.05$); el ASA produce un comportamiento similar al ACS y la adición de ALC no mejora la respuesta productiva cuando se usa como fuente de energía. En el Exp. 3, al reducir la proteína se modificó el contenido de ácidos grasos insaturados y aumentó los lípidos totales ($P \leq 0.05$); el ALC aumentó los ácidos grasos saturados y su concentración en la grasa intramuscular ($P \leq 0.05$); la concentración de ASA utilizada produce un contenido de ácidos grasos y total de lípidos similar al ACS.

Palabras clave: cerdos, ácido linoleico conjugado, aceite de soya acidulado, dietas bajas en proteína, contenido de ácidos grasos.

LOW-PROTEIN DIETS ADDED WITH CONJUGATED LINOLEIC ACID OR ACIDULATED SOYBEAN OIL SOAPSTOCK FOR FATTENING BARROWS

Manuel Martínez Aispuro, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2009

Reduce the concentration of protein in the diets of pigs adding synthetic amino acids kept growth performance, but the meat has a higher fat content. The use of different oils in the diet of pigs can change this aspect, moreover, to change the content of fatty acids in meat by increased consumption of fatty acids not synthesized by pigs. Three experiments were conducted to evaluate low protein diets and distinct source of oil (crude soybean oil "CSO" conjugated linoleic acid "CLA" and acidulated soybean oil "ASO") in fattening pigs. Experiment 1 and 2 were growth performance testing and evaluation of carcass characteristics in the diets of nursery, growing and finishing, in experiment 3 was conducted content analysis of fatty acids and total fat in meat samples pigs from Exp 1 and 2. The pigs used were distributed in a completely randomized design with factorial arrangement of treatments using barrows (Yorkshire × Landrace) fed *ad libitum* and housed individually. In Exp 1, the reduction in protein content affected the growth performance, carcass characteristics and reduced plasma urea ($P \leq 0.05$), the addition of 1 % CLA did not affect the variables analyzed ($P > 0.05$). In Exp 2, reduction in the protein did not affect the growth performance ($P > 0.05$), the ASO gives a similar to the CSO, the addition of CLA did not improve growth performance when used as an energy source. In Exp 3, to reduce the protein content was modified unsaturated fatty acids and total lipids increased ($P \leq 0.05$), the CLA increased saturated fatty acids and their concentration in the intramuscular fat ($P \leq 0.05$), the ASO concentration used produces a fatty acid content and total lipid similar to the CSO.

Keywords: pigs, conjugated linoleic acid, acidulated soybean oil, low protein diets, fatty acid profile.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados por la oportunidad brindada para complementar mi formación profesional y por el financiamiento de esta investigación.

Al Consejo Nacional de la Ciencia y Tecnología por el apoyo otorgado para realizar mis estudios de postgrado.

Al Dr. José Luis Figueroa Velasco por su amistad, enseñanzas y apoyo brindado durante mis estudios de licenciatura y postgrado.

A todos los integrantes de consejo particular, por la disponibilidad y tiempo dedicado para revisar y corregir esta tesis.

A los profesores de la especialidad en Ganadería por sus enseñanzas.

Al MVZ José Luis Cordero, Vicente Zamora, Iván Reyes y Rafael Nieto por el apoyo brindado en la fase experimental de esta tesis.

Al personal administrativo de Ganadería y del laboratorio de nutrición.

DEDICATORIA

A mi esposa Sandra Cecilia, mis papás (Roberto y Ana) y mis hermanos (Beto, Oscar, Paty y Pepe)

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. Planteamiento del problema.....	2
2. Objetivos.....	3
3. Hipótesis.....	4
4. Revisión de literatura.....	4
Dietas bajas en proteína para cerdos.....	4
Características de la canal en cerdos consumiendo dietas bajas en proteína.....	5
Dietas bajas en proteína y excreción de nitrógeno en cerdos.....	6
Efecto de las dietas bajas en proteína en el contenido de ácidos grasos.....	7
Uso de grasas en nutrición de cerdos.....	8
Calidad y valor nutritivo de una grasa.....	8
Digestión y absorción de las grasas.....	9
Efecto del tipo de grasa en su valor nutritivo.....	10
Efecto del contenido de ácidos grasos libres en la calidad de la grasa.....	11
Valoración del contenido energético de las grasas.....	12
Ácido linoleico conjugado en nutrición animal.....	12
Efecto y mecanismo de acción del ALC.....	14
Cambio en la composición y cantidad de ácidos grasos en tejidos animales por el ALC.....	16
Concentración de ALC en alimentos.....	17
Producción de ALC en cerdos.....	17
Efecto de la adición ALC en dietas para cerdos.....	18
Efecto de la adición de ALC en las características de la canal en cerdos.....	19
Efecto de ALC en el tipo de ácidos grasos en carne de cerdos.....	21
Aceite de soya y aceite acidulado de soya.....	22

Aceite de soya acidulado en la alimentación de cerdos.....	23
5. Literatura citada	25
CAPÍTULO I. Adición de ácido linoleico conjugado en dietas bajas en proteína para cerdos en engorda.....	37
1.1. Resumen.....	38
1.2. Abstract.	39
1.3. Introducción.....	40
1.4. Materiales y métodos.....	41
1.5. Resultados.....	43
1.6. Discusión.....	44
1.7. Conclusiones e implicaciones.....	51
1.8. Literatura citada	51
CAPÍTULO II. Cerdos alimentados con dietas bajas en proteína adicionadas con ácido linoleico conjugado o aceite de soya acidulado...	66
2.1. Resumen.....	67
2.2. Abstract.....	68
2.3. Introducción.....	69
2.4. Materiales y métodos.....	70
2.5. Resultados.....	72
2.6. Discusión.....	74
2.7. Conclusiones e implicaciones.....	79
2.8. Literatura citada	79
CAPÍTULO III. Contenido de ácidos grasos en carne de cerdos alimentados con dietas bajas en proteína adicionadas con ácido linoleico conjugado o aceite de soya acidulado.....	94
3.1. Resumen.....	95
3.2. Abstract.....	96
3.3. Introducción.....	97
3.4. Materiales y métodos.....	98
3.5. Resultados.....	99
3.6. Discusión.....	101

3.7. Conclusiones e implicaciones.....	104
3.8. Literatura citada	104
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES ..	117
1. Conclusiones.....	117
2. Recomendaciones.....	117

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1	Contenido de ALC en varios alimentos.....	18
1.1.	Composición de las dietas experimentales de cerdos en iniciación...	59
1.2.	Composición de las dietas experimentales de cerdos en crecimiento.	60
1.3.	Composición de las dietas experimentales de cerdos en finalización..	61
1.4.	Efecto de la concentración de proteína cruda y ácido linoleico conjugado en dietas de cerdos en iniciación.....	62
1.5.	Efecto de la concentración de proteína cruda y ácido linoleico conjugado en dieta de cerdos en crecimiento.....	63
1.6.	Efecto de la concentración de proteína cruda y ácido linoleico conjugado en dietas de cerdos en finalización.....	64
1.7.	Efecto de la concentración de proteína cruda y ácido linoleico conjugado en dietas de cerdos de 17.3 a 83.5 kg.....	65
2.1.	Análisis químico del aceite de soya acidulado.....	71
2.2.	Composición de las dietas experimentales para cerdos en iniciación.	87
2.3.	Composición de las dietas experimentales para cerdos en crecimiento.....	88
2.4.	Composición de las dietas experimentales para cerdos en finalización.....	89
2.5.	Efecto de la concentración de proteína cruda y tipo de aceite en la dieta de cerdos en iniciación (18.6-35.7kg).....	90

2.6.	Efecto de la concentración de proteína cruda y tipo de aceite en la dieta de cerdos en crecimiento (35.9-62.9kg).....	91
2.7.	Evaluadas por efecto de la concentración de proteína cruda y tipo de aceite en la dieta de cerdos en finalización (62.3-93.3 kg).....	92
2.8.	Efecto de la concentración de proteína cruda y tipo de aceite en la dieta de cerdos de 35.9 a 94.2 kg.....	93
3.1.	Análisis de ácidos grasos en los aceites incluidos en las dietas experimentales.....	108
3.2.	Efecto de la concentración de proteína cruda y de ALC en el total de lípidos y contenido de ácidos grasos en músculo <i>semimembranosus</i> de cerdo (Exp. 1).....	109
3.3.	Efecto de la concentración de proteína cruda y de ALC en el total de lípidos y contenido de ácidos grasos en músculo <i>longissimus</i> de cerdo (Exp. 1).....	110
3.4.	Efecto de la concentración de proteína cruda y de tipo de aceite en el total de lípidos y contenido de ácidos grasos en músculo <i>semimembranosus</i> de cerdo (Exp. 2).....	111
3.5.	Efecto de la concentración de proteína cruda y de tipo de aceite en el total de lípidos y contenido de ácidos grasos en músculo <i>longissimus</i> de cerdo (Exp. 2).....	112
3.6.	Efecto de la interacción PC×ALC en el total de lípidos y contenido de ácidos grasos en músculo <i>semimembranosus</i> de cerdo (Exp.	

	1).....	113
3.7.	Efecto de la interacción PC×ALC en el total de lípidos y contenido de ácidos grasos en músculo <i>longissimus</i> de cerdo (Exp. 1).....	114
3.8.	Efecto de la interacción PC × Tipo de aceite en el total de lípidos y contenido de ácidos grasos en músculo <i>semimembranosus</i> de cerdo (Exp. 2).....	115
3.9.	Efecto de la interacción PC × Tipo de aceite en el total de lípidos y contenido de ácidos grasos en músculo <i>longissimus</i> de cerdo (Exp. 2).....	116

INTRODUCCIÓN GENERAL

La reducción en la excreción de nitrógeno fecal y urinario proveniente de la proteína dietética que consumen los cerdos se logra con la disminución en el contenido de dicho nutrimento en la dieta, pero es necesaria la adición de aminoácidos sintéticos para no afectar la respuesta animal. Desde el punto de vista ambiental, esta es una práctica deseable; sin embargo, comercialmente su aplicación no es tan amplia por la acumulación y distribución de lípidos en el cerdo, obteniéndose un producto que puede ser rechazado por el consumidor.

En la nutrición porcina, la adición de aceite o grasa es una forma de incrementar o equilibrar la concentración energética en la dieta para regular el consumo, ya que los cerdos tienden a consumir alimento hasta cubrir sus necesidades energéticas (Cromwell, 2006). Los ácidos grasos son componentes importantes en la dieta de cerdos, constituyen no sólo un aporte energético que casi duplica el aporte de los carbohidratos y las proteínas, además tienen funciones metabólicas específicas. Algunos son esenciales, como los ácidos grasos omega-6 y omega-3 (Simopoulos *et al.*, 1999); otros destacan por sus efectos benéficos o potencialmente dañinos para la salud humana, como es el caso de los ácidos grasos insaturados y de los ácidos grasos saturados (Valenzuela *et al.*, 2000).

Las dietas adicionadas con grasa mejoran la eficiencia alimenticia y pueden reducir indirectamente la producción de heces. Investigaciones en el uso de grasas en la alimentación de cerdos se han enfocado a determinar su digestibilidad y las diferencias debidas a la cantidad de ácidos grasos saturados e insaturados (Aalhus y Dugan, 2001). Sin embargo, la adición con alta concentración de grasa insaturada puede causar problemas al aumentar la grasa suave en las canales, lo que propicia mayor oxidación de la carne (Murphy, 2000).

En la actualidad, los productores pecuarios han disminuido el uso de antibióticos como promotores de crecimiento y buscan alternativas viables para hacer más rentable su actividad. Una puede ser la incorporación de ácido linoleico conjugado (ALC) en las dietas para animales en producción (Weber *et al.*, 2001). Con los beneficios atribuidos al ALC, las investigaciones tienden a comparar sus efectos con otros productos promotores de crecimiento en cerdos, como la

somatotropina porcina y la ractopamina, que incrementan el rendimiento magro pero con impacto negativo en la calidad de la carne. Así, investigación científica ha observado efectos positivos del ALC en la producción de cerdos y mejoras en la calidad de la carne (disminuye engrasamiento y aumenta el marmoleo), aunque los resultados varían entre investigaciones; además, no existe evidencia de que el ALC tenga efecto adverso en la calidad e inocuidad de la carne (Murphy, 2000).

Otra preocupación de los productores porcinos es integrar subproductos de bajo costo en las dietas para reducir gastos por concepto de alimentación. Los aceites vegetales son productos esenciales en la dieta y su costo es elevado, pero hay alternativas más baratas como los aceites acidulados que si se procesan correctamente pueden utilizarse en la producción animal.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El objetivo de la industria porcina es producir cerdos magros sin afectar la calidad de la carne, al menor costo posible y con prácticas que den valor agregado al producto. Los genotipos magros de cerdos tienen pobre calidad del músculo (baja puntuación en color, bajo porcentaje de grasa intramuscular) y problemas de grasa suave (Eggert *et al.*, 1998). También, la producción intensiva de cerdos tiene fuerte impacto ambiental, el cual puede controlarse a través de la alimentación para aumentar el aprovechamiento y disminuir la excreción de los nutrientes contenidos en la dieta, como el nitrógeno (Honeyman, 1993). La alta emisión de amoníaco, a consecuencia del uso ineficiente de parte de la proteína aportada en la dieta de cerdos, puede ser menor si se reduce el contenido de este nutriente. Esta reducción en la proteína en dietas con base en grano (maíz, sorgo)-pasta de soya mantiene la respuesta productiva si la reducción es adecuada, acorde a las condiciones (tipo de ingredientes, capacidad de ganancia de tejido magro del cerdo); pero en la carne producida es frecuente observar mayor grasa dorsal y acumulación de lípidos. Por tanto es necesario evaluar la concentración de proteína que minimice este problema o incluir productos que modifiquen positivamente este aspecto.

Cuando en la dieta de los cerdos se cambia los ingredientes, se modifica la composición de los ácidos grasos de la grasa almacenada y el tipo de grasa

consumida en la dieta humana al ingerir la carne (Kouba *et al.*, 2003). En este sentido, existe un compuesto llamado ácido linoleico conjugado (ALC) que tiene un efecto en el metabolismo de lípidos en los animales que lo consumen, aumentando la lipogénesis, disminuye la síntesis de grasa, modifica el contenido y la distribución de ácidos grasos en el organismo mejorando el marmoleo de la carne (Eggert *et al.*, 2001). Finalmente, es necesario contar con información de subproductos como el aceite de soya acidulado que mantiene un adecuado comportamiento productivo y su costo en el mercado es bajo respecto a otros aceites (Starkey *et al.*, 2002a), pero es importante conocer el efecto en cuanto a el depósito de lípidos y contenido de ácidos grasos en la carne de los cerdos que lo consumen, además de la posible repercusión en la salud y aceptación del consumidor.

2. OBJETIVOS

General:

Evaluar la respuesta productiva y las características de la canal de cerdos finalizados utilizando dietas bajas en proteína con ácido linoleico conjugado y aceite de soya acidulado.

Específicos:

- Evaluar la adición de una concentración fija de ácido linoleico conjugado a dietas con baja proteína en el comportamiento productivo, las características de la canal y concentración de urea plasmática de cerdos en engorda.
- Evaluar la adición de ácido linoleico conjugado y aceite de soya acidulado en sustitución de aceite de soya en dietas bajas en proteína, en el comportamiento productivo, las características de la canal y concentración de urea plasmática en cerdos en engorda.
- Determinar el contenido de isómeros de ácido linoleico conjugado y de ácidos grasos en carne de cerdo que consuman ácido linoleico conjugado y aceite de soya acidulado.

3. HIPÓTESIS

- El comportamiento productivo y las características de la canal de cerdos finalizados con dietas bajas en proteína adicionadas con ácido linoleico conjugado o aceite de soya acidulado es similar al obtenido con dietas que contienen aceite de soya.
- La adición de ALC en las dietas de cerdos para engorda disminuye el engrasamiento en la canal y el contenido total de lípidos.
- El contenido de ácidos grasos en la canal de cerdos se modifica en función del tipo de ácidos grasos consumidos y la concentración de otros nutrimentos en la dieta.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA PARA CERDOS

La reducción en la concentración de la proteína en la dieta asociada con una adecuada adición de aminoácidos sintéticos, tiene beneficios en nutrición porcina: reduce la excreción de nitrógeno sin afectar la retención y la ganancia de peso (Kerr *et al.*, 1995; Figueroa *et al.*, 2002; Kerr *et al.*, 2003a); y disminuye las necesidades de energía asociada con la excreción del exceso de nitrógeno en la orina y la transformación de energía a calor (Le Bellego *et al.*, 2002).

Cuando la reducción en la concentración de proteína se produce aumentando el contenido de fibra en la dieta no hay diferencia en la ganancia de peso (GP) y la eficiencia alimenticia (EA) en los cerdos (Zervas y Zijlstra, 2002a). Con una adecuada adición de aminoácidos es posible reducir el contenido proteínico en la dieta de cerdos en crecimiento hasta 4 % sin afectar la ganancia diaria de peso y la EA, pero se presentan efectos negativos en algunas de las características de la canal (Figueroa *et al.*, 2002). Hansen *et al.* (1993a) evaluaron una dieta con 17 % de PC con base en sorgo-pasta de soya fortificadas con lisina, metionina y treonina, obtuvieron una respuesta similar a la observada con la dieta con 21 % de PC en cerdos de 5 a 20 kg. En la etapa de crecimiento no hay diferencia en la GP o consumo de alimento en cerdos alimentados con dietas bajas en proteína (DBP)

comparado con el testigo (18 vs 16 %; Shriver *et al.*, 2003). En otro experimento realizado por Hansen *et al.* (1993b) con DBP, cerdos de 20 a 50 kg tienen un adecuado crecimiento con dietas con 14 % de PC adicionadas con lisina y treonina. En los cerdos en etapa de finalización alimentados con DBP (12 %) adicionadas con aminoácidos sintéticos (AA), tienen una velocidad de crecimiento, ganancia de carne magra y consumo de alimento similares a la obtenida con cerdos alimentados con 16 % de PC, concentración que es convencional para esta etapa (Kerr *et al.*, 2003b). La ganancia de peso y EA se mantienen en cerdos, desde 60 kg, alimentados con dietas con 10.4 %, comparados con los que recibieron 15.4 % PC (Liu *et al.*, 2000).

Kephart y Sherritt (1990) observaron una menor EA y disminución en el crecimiento de cerdos de 18 a 35 kg cuando la concentración de proteína se redujo de 17 a 11 %. La GP y la EA se redujeron al bajar 4 % la PC en dietas para cerdos en finalización (Tuitoek *et al.*, 1997b; Adeola y Sands, 2003). Los cerdos castrados con alto potencial de crecimiento magro alimentados con DBP adicionadas con aminoácidos, tienen menor crecimiento que los cerdos alimentados con la dieta testigo, ya que al disminuir en 4 % el contenido proteínico hay deficiencia de aminoácidos esenciales y posiblemente otros nutrimentos (Gómez *et al.*, 2002a), esto puede deberse a que genotipos magros presentan mayores requerimientos de aminoácidos esenciales con relación a otros durante el periodo de rápido crecimiento (Mahan y Shields, 1998). Además, la baja respuesta en el crecimiento utilizando DBP+AA, puede atribuirse a la rápida absorción de aminoácidos sintéticos en relación a los aminoácidos derivados de proteína intacta, lo cual resulta en mayor oxidación de los aminoácidos libres (Batterham, 1984). Sin embargo, se ha observado que la lisina y otros aminoácidos pueden ser usados más eficientemente cuando su consumo es subóptimo (Chiba *et al.*, 1991), como sucede en las DBP donde la digestibilidad de los aminoácidos es mayor (Otto *et al.*, 2003).

Características de la canal en cerdos consumiendo dietas bajas en proteína

Los cerdos alimentados con DBP tienen menor proteína corporal y tasa de acumulación de proteína que los que consumen dietas estándar, lo cual puede deberse a la deficiencia de aminoácidos esenciales (Gómez *et al.*, 2002a). La

disminución en la ganancia de tejido magro (Figuroa *et al.*, 2002) y aumento en el grosor de la grasa dorsal (GD) de los cerdos con las DBP (Kerr *et al.*, 1995; Tuitoek *et al.*, 1997a, b), se atribuye a la mayor disponibilidad de energía para la síntesis de lípidos y acumulación de tejido adiposo, como resultado de la reducción en el gasto de energía para catabolizar el exceso de proteína en la dieta (Knowles *et al.*, 1998; Gómez *et al.*, 2002b). Los cerdos alimentados con reducción en la proteína dietética en 4.5 %, presentan tendencia a un mayor grosor de GD por el incremento en la energía neta disponible (Kendall *et al.*, 1998); consecuentemente la retención de lípidos tiende a ser mayor (Atakora *et al.*, 2003). En el caso del área de musculo *longissimus* (AML), esta disminuye linealmente al reducir la proteína cruda hasta en 4 % (Figuroa *et al.*, 2002; Kerr *et al.*, 2003b).

En lechones la reducción de 5.5 % en la concentración de la proteína de la dieta, asociada con una adecuada adición de aminoácidos, no afecta la acumulación corporal de grasa y proteína (Le Bellego y Noblet, 2002). En cerdos en crecimiento-finalización se ha observado que al reducir en 4 % la proteína en dietas basadas en sorgo-pasta de soya adicionadas con aminoácidos esenciales no influye en el porcentaje de carne magra y la ganancia de carne magra (GCM) (Myer y Gorbet, 2002); además, en las dietas maíz-pasta de soya con una reducción similar se mantiene la ganancia de tejido magro y no aumenta la GD (Kerr *et al.*, 2003ab; Shriver *et al.*, 2003). Los cerdos en crecimiento y finalización alimentados con DBP y baja concentración de energía no aumentan el grosor de la GD e incluso incrementan el AML, pero la respuesta productiva no es la óptima (Figuroa *et al.*, 2004).

Dietas bajas en proteína y excreción de nitrógeno en cerdos

Al bajar el contenido de proteína en la dieta adicionando aminoácidos sintéticos se reduce la excreción de nitrógeno manteniendo el comportamiento productivo (Le Bellego *et al.*, 2001); además es una alternativa de bajo costo para controlar olores y la emisión de amoníaco en la producción porcina intensiva (Hayes *et al.*, 2004). Los cerdos alimentados con DBP durante la engorda producen baja emisión de amoníaco (Panetta *et al.*, 2006), la cual es proporcional a la reducción en

el contenido de proteína (Powers *et al.*, 2005; Powers *et al.*, 2007). Esto se debe a menor excreción de nitrógeno fecal y urinario (Akemi *et al.*, 2002; Gomez *et al.*, 2002a), que en la etapa de crecimiento puede reducirse hasta en 84.72 y 46.65 % para cada caso, mientras que en finalización se reduce 59.8 y 29.9 %, cuando en la dieta se disminuye 4 % la proteína (Tartrakoon *et al.*, 2004).

Una forma indirecta de medir esta reducción es a través de la concentración de urea en plasma, variable que se relaciona linealmente y en forma positiva con la excreción urinaria de N en cerdos alimentados *ad libitum* (Zervas y Zijlstra, 2002b). La concentración de urea plasmática es menor hasta en 60 % al bajar 4 % la proteína en dietas para cerdos en iniciación y crecimiento (Kendall *et al.*, 1998) y 36 % en cerdos en finalización (Kerr *et al.*, 2003a; Le Bellego *et al.*, 2002), se ha observado que la reducción es proporcional a la reducción de la proteína dietética (Figueroa *et al.*, 2002).

Efecto de las dietas bajas en proteína en el contenido de ácidos grasos

En cerdos de alta capacidad genética alimentados con DBP se incrementa la grasa intramuscular y disminuye la concentración de ácido linoleico y linolénico en tejido muscular reduciendo la relación de ácidos grasos poliinsaturados: saturados (Wood *et al.*, 2004). También se han evaluado DBP con el mismo contenido de energía para incrementar la concentración total de lípidos en el músculo *longissimus*, ya que estas dietas limitan la síntesis de proteína y la energía destinada para la síntesis de músculo es dirigida a la acumulación de grasa. En la etapa de finalización al reducir la proteína dietética la grasa intramuscular es modificada, se incrementa los lípidos totales de 1.7 a 2.8 % y afecta la proporción de 18:1cis-9, el cual incrementa de 32.1 a 39.0 % en el total de lípidos en tejido muscular. La proporción de omega 6 y 3 se reduce cuando se suministran estas dietas en los cerdos (Teye *et al.*, 2006).

Se ha observado que con DBP se incrementa la expresión de la esteroil Co-A desaturasa en el músculo *longissimus*, existiendo una relación lineal entre la expresión de la esteroil Co-A desaturasa y la cantidad de 18:1cis-9 en músculo,

sugiriendo que la síntesis *de novo* de ácidos grasos puede definir el tipo de ácidos grasos en algunas circunstancias (Doran *et al.*, 2006).

USO DE GRASAS EN NUTRICIÓN DE CERDOS

En la alimentación de los cerdos las grasas son de uso común para incrementar la densidad energética del alimento. Debido a que los cerdos regulan su consumo basados en el contenido energético de la dieta cuando se adiciona grasa es necesario incrementar el contenido de proteína y adecuar la concentración de aminoácidos. En el tubo digestivo la grasa reduce la tasa de pasaje aumentando la digestibilidad de los nutrientes y disminuye el consumo de alimento, también aumenta la palatabilidad, tasa de crecimiento, eficiencia alimenticia y la grasa en la canal; la magnitud de estos cambios está influenciada por la edad y genética del cerdo (Azain, 2001).

En cerdos el efecto de la grasa dietaria en la deposición de lípidos no siempre resulta en un incremento, debido al efecto negativo en la síntesis *de novo* (lipogénesis) en el tejido adiposo. La deposición de grasa incrementa solo cuando la temperatura ambiente es termoneutral o caliente, debido a la baja producción de calor causada por el metabolismo de la grasa en comparación con los carbohidratos (Doreau y Chilliard, 1997).

Calidad y valor nutritivo de una grasa

Los factores que definen la calidad y el valor nutritivo de una grasa se dividen en dos grupos: los relacionados con la seguridad de su uso y los relacionados con su valor nutricional. El criterio de seguridad está basado en la ausencia de sustancias tales como insecticidas, dioxinas, metales pesados, etc., que afectan a la salud y a la respuesta productiva del animal y que pueden influir en su aceptación por el consumidor (Mateos *et al.*, 1996).

El criterio de valor nutricional está relacionado con dos aspectos: 1) factores que actúan como diluyentes de su valor energético, y 2) factores que influyen en su digestibilidad y valor nutritivo. El contenido de ácidos grasos libres, longitud e insaturación de la cadena, tipo y posición de los ácidos grasos en torno a la molécula

lipídica son claves con relación al segundo punto. Aparte de estos, otros factores como el tipo de animal, edad, tipo y composición de la dieta así como calidad del producto final esperado deben considerarse en la nutrición porcina (Mateos *et al.*, 1996).

Digestión y absorción de las grasas

La digestión de las grasas en los cerdos ocurre en el duodeno, donde son emulsionadas por la acción de las sales biliares liberadas en respuesta a la presencia de alimento, que estimula la secreción de hormonas intestinales que producen la contracción de la vesícula biliar y la secreción de jugo pancreático. Las sales biliares son potentes emulsificantes, ya que una parte de la molécula es soluble en agua y otra parte en la grasa. Los movimientos del tubo intestinal, junto con el efecto detergente de las sales biliares, rompen los glóbulos de grasa aumentando la superficie de contacto entre la grasa y las lipasas. La acción de la lipasa pancreática en los triacilgliceroles produce dos ácidos grasos libres no esterificados y un monoglicérido en la posición dos. Los ácidos grasos libres y los monoglicéridos deben incorporarse en micelas para su absorción por difusión pasiva en la mucosa intestinal (Dolz, 1996). Los monoglicéridos son también potentes emulsificantes y contribuyen a la formación de micelas gracias a que poseen una polaridad por su grupo hidroxilo libre. Por tanto, la digestión de las grasas es más o menos eficaz en función de su emulsificación y capacidad de formación de micelas (Dolz, 1996). Dentro del enterocito los monoglicéridos y ácidos grasos de cadena larga son re esterificados a triglicéridos y su transporte se da vía linfática (Doreau y Chilliard, 1997). Los ácidos grasos de cadena corta pasan directamente en la sangre portal sin ser esterificados (Jong-Tseng, 2001).

La variabilidad en la composición química de los lípidos, es fundamental durante el proceso digestivo, ya que su digestibilidad dependerá de la capacidad del cerdo para emulsificarlos, digerirlos y absorberlos eficientemente (Cera *et al.*, 1989a,b). En general, alto contenido de ácidos grasos insaturados en la molécula de triglicérido conduce a una mayor absorción, por lo que produce mayor energía digestible. El uso más eficiente de las grasas y aceites por los animales, se logra

cuando la grasa adicionada a la dieta contiene una relación ácidos grasos insaturados: saturados similar a la encontrada naturalmente en el tejido adiposo del animal.

La longitud de la cadena carbonada también influye en la digestibilidad. Al comparar los valores de digestibilidad obtenidos para el aceite de coco, de maíz, ácidos grasos libres y grasa animal, se observaron mejores resultados para el aceite de coco, tanto en la digestibilidad fecal aparente de la grasa y el nitrógeno, y en las variables productivas. Esto se debe a que los triacilgliceroles de este aceite, están compuestos fundamentalmente por ácidos grasos de 8 a 10 átomos de carbono que al parecer tienen mayor digestibilidad que los ácidos grasos de cadena larga de fuentes vegetales o animales (Cera *et al.*, 1989a). La digestibilidad disminuye al incrementarse la longitud de la cadena de los ácidos saturados de 14 a 18 carbonos, además la digestibilidad se incrementa con la insaturación, debido a la baja formación de micelas con los ácidos grasos saturados, lo cual resulta en una interacción entre saturados e insaturados (Doreau y Chiliard, 1997).

Otro factor importante que influye en la digestibilidad de la grasa en el cerdo es la edad, el cerdo joven tiene un sistema digestivo inmaduro y alcanza la madurez cuando tiene de 6-8 semanas, de allí que el uso de las grasas y aceites por el animal depende no sólo del tipo de grasa sino también de la edad. Los cerdos más jóvenes tienen una menor digestibilidad aparente de la grasa, a mayor edad la capacidad fisiológica para la absorción de grasa se desarrolla y la digestibilidad de los lípidos mejora, en animales jóvenes la digestibilidad de los ácidos grasos saturados es baja por la producción limitada de sales biliares (Doreau y Chiliard, 1997).

Efecto del tipo de grasa en su valor nutritivo

Aunque la composición de ácidos grasos de la grasa determina su valor nutritivo, la absorción de ácidos grasos está en función al origen de la grasa que los contenga. La cantidad de energía que una grasa puede aportar depende de la cantidad de micelas que puedan formarse para ser absorbidas en el intestino delgado. La concentración de micelas (ácido graso-monoglicérido-sales biliares) en el lumen intestinal depende de diversos factores, como: grado de saturación de la

grasa, longitud de cadena de los ácidos grasos, concentración relativa de ácidos grasos libres y esterificados, y posición de los ácidos grasos saturados en la molécula de glicerol (Dolz, 1996).

La longitud de la cadena carbonada así como el número y ubicación de los dobles enlaces en la cadena carbonada, determina las propiedades físicas y funcionales de los ácidos grasos. Así, el punto de fusión del ácido esteárico es 70 °C mientras que el del oleico es -11 °C. La longitud de la cadena y la posición del doble enlace también tienen importancia nutricional. Los animales como el cerdo, tienen una capacidad limitada para insertar dobles enlaces en las cadenas carbonadas (desaturación). Los ácidos grasos de cadena corta forman fácilmente micelas y son más digestibles (Zumbado *et al.*, 1999), independientemente de la relación ácidos grasos saturados: insaturados presente. Los ácidos grasos de cadena muy corta son solubles en agua y pueden absorberse directamente sin incorporarse en micelas (Dolz, 1996).

Efecto del contenido de ácidos grasos libres en la calidad de la grasa

La presencia de ácidos grasos no esterificados (que no forman triglicéridos) en una grasa, supone una menor formación de monoglicéridos cuando la grasa es emulsificada al comienzo de su digestión. Como los monoglicéridos son compuestos muy polares e intervienen directamente en la formación de micelas, la ausencia de éstos repercute negativamente en el valor nutricional de las grasas (Dolz, 1996). Un alto contenido de ácidos grasos libres, indica que la grasa tiene una mayor relación ácidos grasos libres: monoglicéridos y puede haber una reducción en la formación de micelas. La menor formación de micelas afecta principalmente la absorción de ácidos grasos saturados de cadena carbonada larga, como en el aceite de palma y cebo (Zumbado *et al.*, 1999). En cerdos la digestibilidad de la energía proveniente de grasas disminuye conforme se aumenta el contenido de ácidos grasos libres (Powles *et al.*, 1995), sin embargo esta disminución puede deberse al daño oxidativo de los ácidos grasos libres y no solo a la falta de la esterificación con el glicerol (DeRouchey *et al.*, 2006).

En aves se observa una disminución de la energía metabolizable aparente de la grasa al aumentar el contenido de ácidos grasos libres (Wiseman y Salvador, 1991). Este efecto depende del grado de saturación de la grasa, cuanto más saturada es la grasa, mayor es la reducción en su contenido de energía metabolizable al aumentar el contenido de ácidos grasos libres (Dolz, 1996). En el caso de los ácidos grasos de cadena larga son difíciles de digerir por los animales, las grasas más saturadas tienen baja digestibilidad y menor contenido de energía metabolizable aparente, un bajo comportamiento productivo es asociado con un alto contenido de ácidos grasos saturados y alto contenido de ácidos grasos libres (Zumbado *et al.*, 1999).

Valoración del contenido energético de las grasas

El criterio para valorar una grasa es su contenido energético neto, el cual depende del contenido de energía bruta y de su digestibilidad intestinal. Este valor varía en función de la especie, edad del animal, nivel de productividad, tipo de dieta y temperatura ambiental, (Mateos *et al.*, 1996). En la valoración energética de las grasas el factor clave a considerar es su digestibilidad y depende de su capacidad de solubilización y de la formación de micelas en el intestino. En no rumiantes, los cuatro factores claves que determinan el valor energético de una grasa son: 1) el contenido en energía bruta, 2) el porcentaje de triglicéridos vs ácidos grasos libres, 3) el grado de insaturación de los ácidos grasos, y 4) la longitud de cadena de los mismos. En forma práctica, estos cuatro puntos se miden por: 1) el contenido de humedad, impurezas y de insaponificables (MIU), 2) la acidez oleica y porcentaje de ácidos grasos libres, 3) el índice de yodo y el contenido en ácido linoleico y 4) el índice de saponificación (Mateos *et al.*, 1996).

ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO EN NUTRICION ANIMAL

El ácido linoleico es un ácido graso esencial omega-6 muy abundante en los reinos vegetal y animal. La gran mayoría de los aceites vegetales (con algunas excepciones como el aceite de oliva, el de palma, o el de coco) aportan cantidades

importantes de ácido linoleico. En la grasa animal también se le encuentra junto con los ácidos grasos saturados y monoinsaturados (Jensen, 2002).

La presencia de dobles enlaces (insaturación) de los ácidos grasos obedece a un patrón químico diferenciado. En un ácido graso di-insaturado, los dos dobles enlaces siempre están separados por un carbono intermedio que no participa en la estructura de insaturación. Esto es, en un ácido graso donde los dobles enlaces están entre los carbonos 9-10 y 12-13, el carbono 11 no participará en la estructura de insaturación. Esta es una estructura "no conjugada" y al carbono 11 se le designa como un carbono metilénico intermedio, esta es la estructura natural de la mayoría de los ácidos grasos (Sanhueza *et al.*, 2002).

Como consecuencia de la manipulación tecnológica de las grasas y aceites, o en casos particulares por efecto de la metabolización celular de ciertos ácidos grasos, es posible que un doble enlace cambie de posición, por ejemplo, desde la posición 9,10 a la 10,11, o de la posición 12,13 a la 11,12. En ambos casos desaparece el carbono metilénico intermedio y el ácido graso formado se transforma en una estructura conjugada, o sea, en un ácido graso conjugado (Hernández, 2002). La conjugación de los dobles enlaces puede ocasionar un cambio en la isomería espacial del ácido graso. Esto es, en un ácido graso di-insaturado cuyos dos dobles enlaces tienen isomería *cis*, uno de estos dobles enlaces, o ambos, pueden adoptar la isomería *trans* (Sanhueza *et al.*, 2002).

El ácido linoleico conjugado (ALC) es una mezcla de isómeros posicionales y geométricos del ácido linoleico. El isómero biológicamente activo y naturalmente más abundante en la carne es el *cis*-9, *trans*-11. Se denomina conjugado porque la doble ligadura *cis*-12 pasa a la posición *trans*-11 cambiando su configuración a una simple ligadura entre los carbonos 9 y 11, a diferencia del *cis*-12 donde existen dos ligaduras simples entre los carbonos 9 y 12 (Khanal y Dhiman, 2004). Cada doble enlace puede tener configuración *cis* o *trans*, pero aquellos con un doble enlace *trans* son biológicamente activos (Jensen, 2002). De los dos isómeros importantes biológicamente el *cis*-9, *trans*-11 es el más abundante con 80 a 90 % del total de ALC en productos de rumiantes y el *trans*-10, *cis*-12 está presente en cantidades del 3 al 5 % (Parodi, 2003).

Efecto y mecanismo de acción del ALC

La multifuncionalidad y efecto del ALC posiblemente es resultado de la interacción de los isómeros biológicamente activos, en diferentes vías metabólicas (Pariza *et al.*, 2001). Los efectos biológicos del ALC se han producido usando mezclas de isómeros del ALC que contienen principalmente *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 en cantidad similar y con otros isómeros en baja concentración (Chin *et al.*, 1992). Los reportes indican que los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 inducen diferentes efectos.

Al isómero *c*-9, *t*-11 del ALC se le atribuyen propiedades anticancerígenas, como promotor de crecimiento y mejora de la eficiencia alimenticia en algunos animales (Pariza *et al.*, 2001). El efecto del ALC en el metabolismo de lípidos puede ser producido por el isómero *trans*-10, *cis*-12, regulando la actividad bioquímica en tejido adiposo inhibiendo la actividad de la lipasa lipoprotéica (la cual hidroliza los ácidos grasos de los triglicéridos circulantes) en el adipocito y de enzimas de músculo esquelético, con efectos en la diferenciación de preadipocitos, oxidación de grasas, lipogénesis e incremento en el gasto de energía (Pariza *et al.*, 2000, 2001; Wang y Jones, 2004). Se ha observado que el isómero *trans*-10, *cis*-12, inhibe directamente la actividad de la esteroil-CoA desaturasa (Pariza *et al.*, 2001) responsable de adicionar dobles enlaces para sintetizar ácidos grasos insaturados, lo que produce mayor proporción de ácidos saturados en la grasa (Heckart *et al.*, 1999). El ALC *trans*-10, *cis*-12 reduce la secreción de triglicéridos de células hepáticas e incrementa la actividad de la glucosa-6-fosfato deshidrogenasa y de la enzima málica en el tejido graso (Bee, 2000).

Un mayor gasto energético y una disminución en el consumo de energía ocurre con el consumo de ALC, pero existen evidencias de que la mayor parte del efecto en los cambios de grasa corporal son explicados por atenuación en la diferenciación celular de adipocitos por el isómero *trans*-10, *cis*-12 (Larsen *et al.*, 2003). Además, en muchos modelos animales la reducción en la grasa corporal parece que se debe principalmente a la reducción en el depósito y no en la movilización de la grasa corporal acumulada (Pariza *et al.*, 2001). El efecto en el metabolismo energético del ALC también se relaciona con la reducción en el

catabolismo de músculo esquelético inducido por estimulación inmune (Cook *et al.*, 1993). Cambios en la composición corporal como reducción en la grasa, aumento en la retención de agua, aumento de proteína y contenido mineral, son asociados con el suministro de dietas con el isómero del ALC *trans*-10, *cis*-12 en ratones; los isómeros del ALC *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-9, *trans*-11 no influyen en estas actividades bioquímicas (Park *et al.*, 1997).

El receptor γ del peroxisoma proliferador-activado (PPAR γ) es un importante factor de transcripción en la adipogénesis, el cual baja su actividad con la adición de ALC, sugiriendo que ALC reduce el contenido de triacilgliceroles en parte por disminuir la síntesis de ácidos grasos, así como la respuesta y esterificación de los triacilgliceroles en el adipocito. El ALC ha mostrado que altera el tipo y cantidad de ácidos grasos en preadipocitos; en particular, el contenido de ácido araquidónico es reducido en más de 50 %. El ácido araquidónico es precursor de las prostaglandinas y actúa como ligando del PPAR, el cual activa genes importantes en la adipogénesis, el ALC puede interferir con el mecanismo celular normal involucrado en la maduración de adipocitos. La susceptibilidad a la apoptosis es mayor en adipocitos inmaduros; el ALC puede incrementar la proporción de células que son susceptibles a otros factores que activan la apoptosis (Hargrave *et al.*, 2002).

El ALC también induce cambios en factores de riesgo cardiovasculares, tolerancia a la glucosa, concentración de ácidos grasos libres, triglicéridos, LDL total y HDL o VLDL-colesterol en sangre (Larsen *et al.*, 2003). Aunque no se sabe cuál de los isómeros es el responsable, el ALC tiene efectos positivos en el sistema inmune, la arterioesclerosis, los procesos de osificación y la diabetes (Bauman *et al.*, 1999). En los tejidos animales el ALC se distribuye en los fosfolípidos, particularmente en la fosfatidiletanolamina, por lo cual de alguna manera participaría en la determinación de las propiedades químicas y biológicas de las membranas celulares (fluidez, permeabilidad, transmisión de señales, etc.) (Sébédio *et al.*, 1999).

Cambio en la composición y cantidad de ácidos grasos en tejidos animales por el ALC

Hay evidencia de que el ALC puede regular el metabolismo de lípidos, además de afectar la composición corporal. Se ha observado que el isómero *trans*-10, *cis*-12 puede inhibir la transcripción y actividad de la esteroil-CoA desaturasa 1 en tejido adiposo porcino; la cual desatura ácidos grasos saturados (AGS) en ácidos grasos monoinsaturados (AGMI), resultando en un mayor índice de delta 9 desaturasa así como una mayor relación AGMI/AGS. El isómero *trans*-10, *cis*-12 parece que disminuye la expresión del ARNm para la esteroil-CoA desaturasa 1 en células del hígado de ratones produciendo una disminución en la relación C16:1/C16:0 y C18:1/C18:0 (Lee *et al.*, 1998), también reduce la expresión y actividad del ARNm para la esteroil-CoA desaturasa 1 en adipocitos (Choi *et al.*, 2000). Estudios de transcripción de enzimas lipogénicas en tejido adiposo, aislado de glándulas mamarias, han mostrado que el ALC *trans*-10, *cis*-12 inhibe la transcripción de enzimas involucradas en la síntesis *de novo* de ácidos grasos, desaturación de ácidos grasos y síntesis de triglicéridos (Baumgard *et al.*, 2002). La cantidad de ARNm de enzimas lipogénicas como la ácido graso sintetasa y la Acil-CoA carboxilasa disminuyen en ratones consumiendo 1 % de ALC en la dieta (Tsuboyama-Kasaoka *et al.*, 2000).

Park *et al.* (1997) observaron que los efectos del ALC en la composición corporal de ratones pueden deberse en parte a la reducción en la deposición de grasa y al incremento en la lipólisis en adipocitos, posiblemente aumentando la oxidación de ácidos grasos en células musculares y adipocitos. El ALC produce una mayor actividad específica de la carnitina en tejido adiposo y muscular incrementando el transporte de ácidos grasos a mitocondria para su oxidación (Evans *et al.*, 2002), lo cual reduce la disponibilidad de ácidos grasos para la síntesis de triacilgliceroles y consecuentemente disminuye la deposición de grasa (Park *et al.*, 1997). También se ha observado reducción en el tamaño y número de adipocitos, lo cual puede ser atribuido a la disminución en la acumulación de grasa o triglicéridos en el adipocito en presencia del ALC (Wang y Jones, 2004).

Concentración de ALC en alimentos

Con la aplicación de mejor tecnología para el análisis y la identificación de los ácidos grasos componentes de los alimentos es posible percatarse que en toda muestra de aceite, grasa y productos de origen animal hay presencia de ALC (Williams *et al.*, 1997). Este ácido graso se presenta con diferente isomería, aunque siempre predomina la estructura 9-*cis*, 11-*trans*. El ALC se encuentra en pequeñas proporciones en los aceites vegetales, su concentración es particularmente alta en la carne y en la leche de los rumiantes, donde puede alcanzar hasta 0.65 % de los lípidos totales (Fritsche y Steinhart, 1998).

Los alimentos de rumiantes (bovinos de carne, borregos, vacas) contienen mayor concentración de ALC que los lípidos de no rumiantes. La concentración de ALC en productos lácteos varía de 2.9 a 8.92 mg g⁻¹ grasa, de los cuales el isómero 9-*cis*, 11-*trans* constituye del 73 al 93 % del total de ALC. El ganado de carne contiene ALC en rangos similares con el isómero 9-*cis*, 11-*trans* contribuyendo de 57 a 85 % del total de ALC (Shantha *et al.*, 1994). Los aceites vegetales y las margarinas contienen poco ALC. Las concentraciones de ALC en grasas de no rumiantes y aceites vegetales varía del 0.6 a 0.9 mg g⁻¹ grasa (Cuadro 1) (Chin *et al.*, 1992).

Producción de ALC en cerdos

El ALC es producido naturalmente por bacterias en los rumiantes, por lo que se encuentra en cantidades significativas en su carne y leche. La carne de no rumiantes, como la de cerdo es relativamente baja en ALC, aunque posiblemente sintetizan el ALC a partir del ácido linoleico (Murphy, 2000). Los cerdos en su estómago contienen pocos microorganismos y tienen una mayor velocidad de paso que los rumiantes, lo que limita la potencial hidrogenación gástrica de ácidos grasos y la producción de ALC. De esta forma sólo una pequeña cantidad de ALC es producido por vía de hidrogenación bacteriana en cerdos y la carne contiene limitadas cantidades de ALC (0.1-0.2 mg g⁻¹ de grasa). Sin embargo, la carne de cerdo es susceptible para enriquecer con ALC sintético, ya que no es saturado antes de su absorción; además el ALC se deposita eficientemente en el tejido, por lo cual

puede ser una excelente fuente de ALC para el consumo humano (Dugan *et al.*, 2004).

Cuadro 1. Contenido de ALC en varios alimentos

Alimento	ALC total mg g⁻¹ grasa	Isómero <i>cis</i>-9, <i>trans</i>-11 %
Carnes		
Res	4.3	85
Ternera	2.7	84
Borrego	5.6	92
Cerdo	0.6	82
Salmón	0.3	-
Aves		
Pollo	0.9	84
Pavo	2.5	76
Productos de leche		
Leche homogenizada	5.5	92
Mantequilla	4.7	88
Crema	4.6	90
Queso Colby	6.1	92
Aceites vegetales		
Girasol	0.4	38
Canola	0.5	44
maíz	0.2	39
Oliva	0.2	-

Adaptado de: Chin *et al.*, 1992.

Efecto de la adición de ALC en dietas para cerdos

Al adicionar ALC en la dieta de cerdos, disminuye el consumo de alimento mientras que el ritmo de crecimiento no cambia, de tal forma que mejora la EA (Eggert *et al.*, 1998), esta respuesta se ha observado en cerdos desde los 56 kg con

la adición de 0.75 % de ALC en la dieta (Wiegand *et al.*, 2002). Thiel-Cooper *et al.* (2000), encontraron que con la adición de hasta 1 % en la dieta, el comportamiento productivo mejora linealmente. Por su parte Wiegand *et al.* (2001), encontraron que con ALC en la dieta, los cerdos mejoran la EA (350 g kg^{-1}) comparados con el grupo testigo (330 g kg^{-1}) independientemente del genotipo de los cerdos, además el pH *postmortem* es menor, atribuyendo este cambio a la capacidad del ALC de regular el metabolismo energético. En otra investigación (Latour, 2003) donde se evaluó el efecto del ALC en cerdos entre 14 y 28 días antes del sacrificio, no encontraron diferencias en el peso final, consumo de alimento y eficiencia alimenticia cuando se comparó los cerdos testigo y los alimentados con 0.5 y 1 % de ALC dietético.

Efecto de la adición de ALC en las características de la canal en cerdos

En varios estudios se ha observado que la adición de ALC en dietas para cerdos, aumenta el crecimiento, disminuye la grasa en la canal y mejora la calidad de la carne (Wiegand *et al.*, 2001; 2002). Se ha observado una mínima influencia del ALC en la composición de la canal cuando se hace la determinación por ultrasonido; sin embargo grasa dorsal obtenida con medición directa se reduce en cerdos con baja capacidad genética con la adición de ALC (Azain, 2004). Dugan *et al.* (2001) evaluaron el efecto de alimentar con diferentes concentraciones dietéticas de ALC y aceite total en cerdos de 36 a 115 kg de peso, encontrando que al incrementar el contenido total de aceite y de ALC, aumenta el contenido magro en los cortes de carne. También, los cerdos alimentados con ALC producen abdómenes más firmes comparados con el testigo, lo cual puede aumentar el rendimiento y mejorar la obtención de cortes (Fulghum *et al.*, 2000).

El contenido de grasa total y la firmeza de la misma se modifican por la presencia de ALC en la dieta. Cerdos alimentados con dietas estándar (testigo) tienen mayor contenido de grasa dorsal comparados con los que recibieron la dieta con ALC, además de que la firmeza del vientre se incrementó linealmente con el aumento en la concentración de ALC. No se encontraron diferencias significativas en otras características de la canal como color y marmoleo. Asimismo, se observó que el ALC se incorporó linealmente ($P > 0.0001$) en la grasa subcutánea y en el tejido

magro conforme el ALC aumentó en la dieta (Thiel-Cooper *et al.*, 2000). El ALC a una concentración de 2 % reduce la grasa subcutánea hasta en 6.8 % e incrementa el contenido magro de 2.3 a 2.7 % en cortes comerciales de cerdo. El ALC también incrementa el contenido de la grasa intramuscular del ojo de chuleta (2.3-3.8 g kg⁻¹ del peso fresco) lo que contribuye positivamente a la palatabilidad de la carne (Aalhus y Dugan, 2001).

Para evaluar la eficacia del uso del ALC para controlar el estrés en cerdos con el gen halotano, se encontró que con 0.75 % de este ácido graso se redujo ($P \leq 0.05$) la grasa dorsal a la altura de la décima costilla, aumenta la puntuación en el marmoleo ($P \leq 0.03$) y la firmeza del m. *longissimus* ($P \leq 0.06$), con lo que se hacen más atractivos los productos porcinos para el consumidor por el aumento en sabor y jugosidad de los cortes frescos (Wiegand *et al.*, 2002).

También se ha observado que con la adición de ALC en la dieta, no se tiene efecto apreciable en la calidad de la carne cerdo y el peso de la canal; sin embargo, la profundidad y el color de la grasa tendió a ser menor ($P = 0.10$); además de una tendencia a presentar menor grosor de la grasa en la décima costilla con la inclusión de 0.25 o 0.5 % de ALC en la dieta de cerdos de 97 a 172 kg (Corino *et al.*, 2003). Estos resultados son similares a los encontrados por Eggert *et al.* (2001) y Thiel-Cooper *et al.* (2001), quienes reportan que la profundidad de la grasa en la décima costilla es menor en canales de cerdos alimentados con ALC. Otros investigadores encontraron reducción lineal en la grasa dorsal al aumentar el contenido de ALC en la dieta de cerdos en crecimiento (Ostrowska *et al.*, 1999). Con alta concentración de ALC, la deposición de grasa disminuyó en 88 g d⁻¹ (-31 %). De igual manera, la proporción de grasa: tejido magro disminuyó linealmente al aumentar el ALC en la dieta. Sin embargo, en otros estudios se ha reportado que éste ácido graso no modifica el área del músculo *longissimus*, el grosor de la grasa dorsal, ni el porcentaje de carne magra en la canal pero sí aumenta la puntuación de grasa intramuscular en 18.8 % (Averette *et al.*, 2002).

Efecto del ALC en el tipo de ácidos grasos en carne de cerdos

El contenido de grasa en los cerdos y en su carne se incrementa entre la etapa temprana de crecimiento y el peso al sacrificio, la proporción de ácidos grasos también cambia. En tejido adiposo subcutáneo se ha observado que ácidos grasos de 18 carbonos (18:0, 18:1 cis-9) aumentan en proporción y 18:2n-6 disminuyen durante este periodo. El cerdo es muy susceptible a cambiar la composición de ácidos grasos en el tejido adiposo y muscular en respuesta a diferente tipo de aceite en la dieta, como en el caso del aumento en la concentración de 18:2n-6 que es un ácido graso común en granos y aceites vegetales, el cual aumenta linealmente a medida que se incrementa su consumo (Wood *et al.*, 2008). Este ácido graso es derivado completamente de la dieta, pasa a través del estómago del cerdo sin cambio y es absorbido al torrente sanguíneo desde el intestino delgado para incorporarse a los tejidos (Wood *et al.*, 2008).

La composición de ácidos grasos de la grasa intramuscular se modifica y el contenido de ácidos grasos saturados se incrementa cuando la concentración de ALC aumenta. Además, la oxidación de lípidos es inhibida con el incremento del ALC en la carne, también se presenta menor pérdida de agua en lomos de animales que se alimentaron con ALC (Joo *et al.*, 2002). El ALC altera el metabolismo de lípidos produciendo bajas concentraciones de ácidos grasos monoinsaturados y aumenta la concentración de los isómeros de ALC en la grasa (Corino *et al.*, 2003) en forma proporcional al contenido de ALC en la dieta de los cerdos (Joo *et al.*, 2002), también produce menor colesterol intramuscular, por lo que la carne enriquecida con isómeros de ALC puede tener un valor agregado, ya que es potencialmente saludable para el consumo humano (Lauridsen *et al.*, 2005).

Los ácidos grasos saturados aumentan con la adición de ALC, mientras que el ALC disminuye el contenido de ácidos grasos insaturados en el músculo sacro espinal y en los vientres de cerdos de 75 a 120 kg de peso (Eggert, 2001). Larsen *et al.* (2000) mencionan que la adición con ALC incrementa el porcentaje de ácidos grasos saturados (ácido palmítico y ácido esteárico) y disminuye los ácidos grasos insaturados (oleico y araquidónico) en dietas de cerdos de 55 a 113 kg.

El efecto del ALC para elevar el grado de saturación de los lípidos en tejido adiposo y músculo en cerdos, es debido a la regulación a la baja en la actividad de la esteroil-CoA desaturasa (Bee, 2001). Un incremento en la grasa intramuscular, ácidos grasos saturados y disminución en los ácidos grasos monoinsaturados se observó como consecuencia del ALC dietético (Martin *et al.*, 2008). También se ha encontrado que la adición de ALC influye positivamente en el valor dietético de la carne por aumentar la concentración de ALC y producir una mejor relación n6-n3: ácidos grasos poliinsaturados, sin afectar el sabor de la carne, además no se observa efecto del ALC en el contenido de colesterol en el AML (Migdal *et al.*, 2004). Otros autores también observaron aumento en la firmeza de la grasa visceral, menor concentración de ácidos grasos mono y poliinsaturados, y mayor contenido de saturados (Eggert *et al.*, 1998). Estos resultados difieren de otra investigación en la cual al proporcionar ácidos grasos insaturados en la dieta se presenta disminución en la relación ácidos grasos saturados: insaturados, lo que produce una disminución en la firmeza de la grasa (Aalhus y Dugan, 2001).

Resultados observados por Corino *et al.* (2003) mencionan que los cerdos alimentados con ALC tienen mayor concentración de ácido 18:0 y menos de 18:1 *cis*-9 ($P \leq 0.01$) en los reservorios de grasa, sugiriendo una reducción en la actividad de la delta 9 desaturasa. La oxidación de lípidos fue inhibida con el incremento de ALC en la carne. Por otro lado Ramsay *et al.* (2001) evaluaron el uso de ALC junto con somatotropina porcina para reducir el contenido total de lípidos y simultáneamente mejorar y enriquecer la composición de lípidos en la carne de cerdo; sin embargo, el ALC no redujo el contenido final de lípidos en la canal de cerdos en etapa de crecimiento, sugiriendo que el efecto puede ser mayor en la fase de finalización.

ACEITE DE SOYA Y ACEITE ACIDULADO DE SOYA

El aceite de soya es la grasa de origen vegetal de mayor disponibilidad en el mercado, procede de la industria del frijol soya tras la extracción previa al refinado del aceite para consumo humano (Mateos *et al.*, 1996). Como consecuencia de su estructura química, insaturación y contenido en triglicéridos es la fuente lipídica de elección para animales jóvenes, como pollitos de primera edad y lechones

destetados precozmente. Aparte de su alta digestibilidad, el aceite de soya utilizado en la industria de alimentos animales es crudo, lo que significa que contienen gomas incorporadas. Estos componentes son muy ricos en colina, fosfolípidos, antioxidantes y vitamina E, lo que favorece la digestibilidad y la conservación durante el almacenaje. Otro punto de interés es su alto contenido de ácido linoleico, que le hace especialmente aconsejable en alimentos para ponedoras con base en cereales blancos, por su efecto en el tamaño del huevo (Mateos *et al.*, 1996).

El aceite acidulado de soya es un subproducto del proceso de refinamiento del aceite, su aspecto es mucho más oscuro que el del aceite del cual procede. Una razón es que durante el proceso de refinamiento los aceites acidulados retienen y concentran los colorantes iniciales. Durante el proceso se separan los ácidos grasos libres, responsables de la acidez, de los triglicéridos mediante la adición de NaOH. A continuación se separan las dos fases por centrifugación y decantación y las pastas sódicas resultantes se neutralizan con sulfúrico, originándose el aceite acidulado ("acidulated soapstocks"). Estos aceites se lavan con agua abundante para arrastrar el exceso de sulfúrico, se secan y limpian por decantación y se obtienen los aceites acidulados comerciales. Son productos que mantienen gran parte de las ventajas nutricionales de los aceites de los cuales proceden. La mayor diferencia es el menor contenido en triglicéridos de los aceites lo que implica un valor energético inferior, especialmente para no rumiantes jóvenes. Por otra parte, al ser un subproducto exige un control de calidad más riguroso para evitar mezclas no deseadas con otras fuentes lipídicas o productos mal procesados (exceso de humedad, impurezas, sulfato sódico, insaponificables y acidez mineral) (Mateos *et al.*, 1996). Comercialmente se puede encontrar aceite acidulado de soya, girasol, oliva y sus mezclas. Otro proceso para eliminar los ácidos grasos libres de los aceites es por destilación; así se obtienen productos muy puros con elevados porcentajes de ácidos grasos libres (>90 %) (Dolz, 1996).

Aceite de soya acidulado en la alimentación de cerdos

En cerdos, los aceites acidulados tienen menor digestibilidad y menor valor energético que los aceites de los cuales proceden. En no rumiantes, los

monoglicéridos resultantes de la digestión enzimática de los triglicéridos son más polares y por ello favorecen la formación de micelas más que los ácidos grasos libres (FEDNA, 1996). Los aceites acidulados son fuentes de energía pero su uso está limitado con relación a su capacidad para la formación de micelas y a su disponibilidad de energía (Vieira *et al.*, 2006). En el pollo de engorda la inclusión de hasta 8 % no influye negativamente en el comportamiento productivo (Machado *et al.*, 2003), de las explicaciones que se plantean para esta interrogante es que durante el proceso de refinamiento del aceite de soya muchos nutrimentos y otras sustancias importantes para la salud animal quedan en el aceite acidulado lo que favorece una buena respuesta en la alimentación animal.

El aceite de soya acidulado es una fuente de energía económicamente atractiva para su uso en dietas de cerdos (Starkey *et al.*, 2002b). Sin embargo, se ha observado que la digestibilidad ileal aparente de la materia seca, proteína cruda y aminoácidos es menor en dietas semipurificadas para cerdos que contienen 0.5 o 1.5 % de aceite acidulado de soya (Bruce *et al.*, 2006). Por otra parte, la adición de aceite de soya acidulado en dietas para lechones destetados durante 35 d en concentraciones de hasta 7 %, no influyó la ganancia diaria de peso (GDP); además de que la dieta testigo (sin adicción de aceite) presenta mayor consumo de alimento y menor EA que los cerdos adicionados con aceite de soya o aceite de soya acidulado (Starkey *et al.*, 2002a). En cerdos en finalización consumiendo por 70 días dietas adicionadas con 6 % de aceite de soya o aceite de soya acidulado tuvieron mayor GDP, EA, grasa dorsal y bajo índice de ganancia de carne libre de grasa al momento del sacrificio en comparación con los cerdos de la dieta testigo (sin adicción de aceite) (Starkey *et al.*, 2002b).

5. LITERATURA CITADA

- Aalhus, L. J., and E. R. M. Dugan. 2001. Improving meat quality through nutrition. *Advances in Pork Production*. 12: 145-150.
- Adeola, O., and J. S. Sands. 2003. Growth performance of growing pigs fed crude protein-adequate or deficient, low phosphorus diets with graded levels of phytase. Purdue University. Swine Research Report. Pp 84-88.
- Akemi, Y., T. Eiji, F. Chieko, I. Minoru, I. Yuji, Y.I Yohihilko, Y. Michi, and F. Shu. 2002. Effect of feeding a reduced protein, amino acid-supplemented diet on the excretion of urine and nitrogen, and the ammonia emission from slurry in growing pigs. *Jap. J. Swi. Sci.* 39 (1). Abstr.
- Atakora, J. K. A., S. Möhn, and R. O. Ball. 2003. Low protein diets reduce greenhouse gas production in finisher pigs while maintaining animal performance. 9th International Symposium on Digestive Physiology in Pigs, Banff, AB, Canada. Vol. 2: pp. 296-298.
- Averette, G. L., M. T. See, D. K. Larick, X. Lin, and J. Odle. 2002. Conjugated linoleic acid in combination with supplemental dietary fat alters pork fat quality. *J. Nutr.* 132: 3105-3112.
- Azain, J. M. 2001. Fat in swine nutrition. In: *Swine Nutrition*. 2nd Ed. A. J. Lewis and L. L. Southern (eds). CRC Press, Boca Raton. Pp 95.
- Azain, M. 2004. Effect of conjugated linoleic acid (CLA) on growth performance, backfat thickness and loin muscle area in pigs sorted based on initial leanness. *J. Anim. Sci.* 82 (2): 78 (Abstr.).
- Batterham, E. S. 1984. Utilization of free lysine by pigs. *Pig News Info.* 5:85–88.
- Bauman, D. E., L. H. Baumgard, B. A. Corl, and J. M. Griinari. 1999. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. *Proceedings of the American Society of Animal Science*. Pp. 1-15.
- Baumgard, L. H., E. Matitashvili, B. A. Corl, D. A. Dwyer, and D. E. Bauman. 2002. Trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid decreases lipogenic rates and expression of genes involved in milk lipid synthesis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85: 2155-2163.

- Bee, G. 2000. Dietary conjugated linoleic acid consumption during pregnancy and lactation influences growth and tissue composition in weaned pigs. *J. Nutr.* 130: 2981-2989.
- Bee, G. 2001. Dietary conjugated linoleic acids affect tissue lipid composition but not de novo lipogenesis in finishing pigs. *Anim. Res.* 50: 383-399.
- Bruce K. J., L. K. Karr-Lilienthal, K. E. Zinn, L. L. Pope, D. C. Mahan, N. D. Fastinger, M. Watts, P. L. Utterback, C. M. Parsons, E. O. Castaneda, M. Ellis, and G. C. Fahey, Jr. 2006. Evaluation of the inclusion of soybean oil and soybean processing byproducts to soybean meal on nutrient composition and digestibility in swine and poultry. *J. Anim. Sci.* 84: 1403-1414.
- Cera, K. R., D. C. Mahan, and G. A. Reinharth. 1989a. Apparent fat digestibilities and performance responses of postweaning swine fed diets supplemented with coconut oil, corn or tallow. *J. Anim. Sci.* 67: 2040-2047.
- Cera, K. R., D. C. Mahan, and G. A. Reinharth. 1989b. Postweaning swine performance and serum profile responses to supplemental medium-chain free-fatty acids and tallow. *J. Anim. Sci.* 67: 2048-2055.
- Chiba, L. I., A. J. Lewis, and E. R. Peo, Jr. 1991. Amino acid and energy interrelationships in pigs weighing 20 to 50 kilograms: II. Rate and efficiency of protein and fat deposition. *J. Anim. Sci.* 69: 708-718.
- Chin, S. F., W. Liu, J. M. Storkson, Y. L. Ha, and M. W. Pariza. 1992. Dietary sources of conjugated dienoic acid isomers of linoleic acid, a newly recognized class of anticarcinogens. *J. Food Comp. Anal.* 5: 185-197.
- Choi, Y., Y. C. Kim, Y. B. Han, Y. Park, M. W. Pariza, and J. M. Ntambi. 2000. The trans-10, cis-12 isomer of conjugated linoleic acid downregulates stearoyl-CoA desaturase 1 gene expression in 3T3-L1 adipocytes. *J. Nutr.* 130: 1920-1924.
- Cook, M. E., C. C. Miller, Y. Park, and M. Pariza. 1993. Immune modulation by altered nutrient metabolism: nutritional control of immune-induced growth depression. *Poult. Sci.* 72: 1301-1305.

- Corino, C., S. Magni, G. Pastorelli, R. Rossi, and J. Mouro. 2003. Effect of conjugated linoleic acid on meat quality, lipid metabolism, and sensory characteristics of dry-cured hams from heavy pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 2219-2229.
- Cromwell, G. L. 2006. Rendered products in swine nutrition. In: *Essential Rendering "All About The Animal By-Products Industry"*. David L. Meeker (ed.). The National Renderers Association. Arlington, Virginia. Pp. 302.
- DeRouchey, J. M., J. D. Hancock, R. H. Hines, C. A. Maloney, D. J. Lee, H. Cao, D. W. Dean, and J. S. Park. 2006. Effects of rancidity and free fatty acids in choice white grease on growth and nutrient digestibility in weanling pigs performance. *J. Anim. Sci.* 82: 2937-2944.
- Dolz, S. 1996. Utilización de grasas y subproductos lipídicos en monogástricos. XII Curso de especialización FEDNA. Madrid, España. Pp. 23-38.
- Doran, O., S. K. Moule, G. A. Teye, F. M. Whittington, K. G. Hallett, and J. D. Wood. 2006. A reduced protein diet induces stearyl-CoA desaturase protein expression in pig muscle but not in subcutaneous adipose tissue: relationship with intramuscular lipid formations. *Brit. J. Nutr.* 95: 609-617.
- Doreau, M., and Y. Chilliard. 1997. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *Brit. J. Nutr.* 7 (1): 15-35.
- Dugan, E. R., J. L. Aalhus, and K. G. Kramer. 2004. Conjugated linoleic acid pork research. *Am. J. Clin. Nutr.* 79: 1212-1216.
- Dugan, M. E. R., J. L. Aalhus, A. L. Schaefer, and J. K. G. Kramer. 1997. The effect of linoleic conjugated acid on fat to lean repartitioning and feed conversion in pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 77: 723-725.
- Dugan, M. E. R., J. L. Aalhus, K. A. Lien, A. L. Schaefer, and J. K. G. Kramer. 2001. Effects of feeding different levels of conjugated linoleic acid and total oil to pigs on live animal performance and carcass composition. *Can. J. Anim. Sci.* 81: 505-510.
- Eggert, J. M., M. A. Belury, and A. P. Schinckel. 1998. The effects of conjugated linoleic acid (CLA) and feed intake on lean pig growth and carcass composition. *Swine Day. Purdue University.* Pp. 21-25.

- Eggert, J. M., M. A. Belury, A. Kempa-Steczo, S. E. Mills, and A. P. Schinckel. 2001. Effects of conjugated linoleic acid on the belly firmness and fatty acid composition of genetically lean pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 2866-2872.
- Evans, M., X. Lin, J. Odle, and M. McIntosh. 2002. Trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid increases fatty acid oxidation in 3T3-L1 preadipocytes. *J. Nutr.* 132: 450-455.
- FEDNA. 1996. Normas para la formulación de piensos compuestos: Valor nutritivo de grasas y aceites. Madrid. España. 452 p.
- Figuroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, R. S. Gómez, and R. M. Diedrichsen. 2002. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 80: 2911-2919.
- Figuroa, J. L., R. M. Cervantes, G. J. M. Cuca, y L. M. Méndez. 2004. Respuesta de cerdos en crecimiento y finalización a dietas con baja proteína y energía. *Agrociencia.* 38: 383-394.
- Fritsche, J., and H. Steinhart. 1998. Amounts of conjugated linoleic acid (CLA) in german foods and evaluation of daily intake. *Z. Lebensm Unters Forsch.* 206: 77-82.
- Fulghum, J. G., J. G. Sebranek, F. C. Parrish, Jr., and B. R. Wiegand. 2000. Effects of feeding conjugated linoleic acid to market pigs on bacon quality and composition. *Swine Report.* Iowa State University. Ames, IA. Pp. 16-17.
- Gómez, R. S., A. J. Lewis, P. S. Miller, and H. Y. Chen. 2002a. Growth performance, diet apparent digestibility, and plasma metabolite concentrations of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *J. Anim. Sci.* 80: 644-653.
- Gómez, R. S., A. J. Lewis, P. S. Miller, H. Y. Chen, and R. M. Diedrichsen. 2002b. Body composition and tissue accretion rates of barrows fed corn-soybean meal diets on low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *J. Anim. Sci.* 80: 654-662.

- Hansen, J. A., D. A. Knabe, and K. G. Burgoon. 1993a. Amino acid supplementation of low-protein, sorghum-soybean meal diets for 5- to 20-kilogram swine. *J. Anim. Sci.* 71 (2): 452-458.
- Hansen, J. A., D. A. Knabe, and K. G. Burgoon. 1993b. Amino acid supplementation of low-protein, sorghum-soybean meal diets for 20- to 50-kilogram swine. *J. Anim. Sci.* 71 (2): 442-451.
- Hargrave, K. M., C. Li, B. J. Meyer, S. D. Kachman, D. L. Hartzell, M.A. Della-Fera, J. L. Miner, and C. A. Baile. 2002. Adipose depletion and apoptosis induced by trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid in mice. *Obes. Res.* 10: 1284-1290.
- Hayes, E. T., A. B. G. Leek, T. P. Curran, V. A. Dodd, O. T. Carton, V. E. Beattie, and J. V. O'Doherty. 2004. The influence of diet crude protein level on odor and ammonia emissions from finishing pig houses. [*Biores.Tech.* 91 \(3\): 309-315.](#)
- Heckart, M. L., J. M. Eggert, A. P. Schinckel, S. E. Mills, and S. S. Donkin. 1999. Feeding conjugated linoleic acid (CLA) decreases lipogenesis and alters insulin responsiveness in porcine adipose tissue explants. *J. Anim. Sci.* 77 (1): 119 (Abstr.)
- Hernández, A. R. 2002. Carne argentina: una especialidad. Publicación técnica N. 38. INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Honeyman, S. M. 1993, Environment-friendly swine feed formulation to reduce nitrogen and phosphorus excretion. *American Journal of Alternative Agriculture.* 3 (8): 128-132.
- Jensen, R. G. 2002. The composition of bovine milk lipid: January 1995 to December 2000. *J. Dairy Sci.* 85: 295-350.
- Jong-Tseng, Y. 2001. Anatomy of the digestive system and nutritional physiology. In: *Swine Nutrition* 2nd edition. A. J. Lewis and L. L. Southern, eds. CRC Press, Boca Raton. Pp. 31
- Joo, S. T., J. I. Lee, Y. L. Ha, and G. B. Park. 2002. Effects of dietary conjugated linoleic acid on fatty acid composition, lipid oxidation, color, and water-holding capacity of pork loin. *J. Anim. Sci.* 80: 108-112.

- Kendall, D. C., K. M. Lemenager, B. T. Richert, A. L. Sutton, J. W. Frank, B. A. Belstra, and D. Bundy. 1998. Effects of intact protein diets versus reduced crude protein diets supplemented with synthetic amino acids on pig performance and ammonia levels in swine buildings. Purdue University. Swine Day. Pp 141-146.
- Kephart, K. B., and G. W. Sherritt. 1990. Performance and nutrient balance in growing swine fed low-protein diets supplemented with amino acids and potassium. *J. Anim. Sci.* 68: 1999-2008.
- Kerr, B. J., F. K. McKeith, and R. A. Easter. 1995. Effect on performance and carcass characteristics of nursery to finisher pigs fed reduced crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 73: 433-440.
- Kerr, B. J., J. T. Yen, J. A. Nienaber, and R. A. Easter. 2003a. Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 1998-2007.
- Kerr, B. J., L. L. Southern, T. D. Bidner, K. G. Friesen, and R. A. Easter. 2003b. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 81: 3075-3087.
- Khanal, R. C., and T. R. Dhiman. 2004. Biosynthesis of conjugated linoleic acid (CLA): A review. *Pak. J. Nutr.* 3 (2): 72-81.
- Knowles, T. A., L. L. Southern, T. D. Bidner, B. J. Kerr, and K. G. Friesen. 1998. Effect of dietary fiber or fat in low-crude protein, crystalline amino acid-supplemented diets for finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 76: 2818-2832.
- Kouba, M., M. Enser, F. M. Whittington, G. R. Nute, and J. D. Wood. 2003. Effect of a high-linoleic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in growing pig. *J. Anim. Sci.* 81: 1967-1979.
- Larsen, S. T., F. C. Parrish, J. Swan, B. R. Wiegand, L. J. Vaske, and J. C. Sparks. 2000. Influence of conjugated linoleic acid (CLA) on belly and bacon quality from pigs fed various diets. Swine Report. Iowa State University, Ames, IA. pp. 228-231.

- Larsen, T. M., S. Toubro, and A. Astrup. 2003. Efficacy and safety of dietary supplements containing CLA for the treatment of obesity: evidence from animal and human studies. *J. Lipid Res.* 44: 2234-2241.
- Latour, M. A., D. E. Gerrard, and T. E. Shipp. 2003. Evaluating growth and carcass characteristics of barrows fed a triglyceride form of conjugated linoleic acid. Swine Research Report. Purdue University. Pp. 68-71.
- Lauridsen, C., H. Mu, and P. Henckel. 2005. Influence of dietary conjugated linoleic acid (CLA) and age at slaughtering on performance, slaughter- and meat quality, lipoproteins, and tissue deposition of CLA in barrows. *Meat Sci.* 69: 393-399.
- Le Bellego, L., and J. Noblet. 2002. Performance and utilization of dietary energy and amino acids in piglets fed low protein diets. *Liv. Prod. Sci.* [76 \(2\)](#): 45-58.
- Le Bellego, L., J. van Milgen, and J. Noblet. 2002. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 691-701.
- Le Bellego, L., J. van Milgen, S. Dubois, and J. Noblet. 2001. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 1259-1271.
- Lee, K. N., M. W. Pariza, and J. M. Ntambi. 1998. Conjugated linoleic acid decreases hepatic stearoyl-CoA desaturase mRNA expression. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 248: 817-821.
- Liu, H., G. L. Allee, K. J. Touchette, J. W. Frank, and J. D. Spencer. 2000. Effect of reducing protein and adding amino acids on performance, carcass characteristics, and nitrogen excretion, and the valine requirement of early-finishing barrows. *J. Anim. Sci.* 78 (2): 69(Abstr.).
- Machado, L. P., S. L. Vieira, and V. R. Quadros. 2003. Source level and age differences in fat utilization by broilers. *Poult. Sci.* 82: 39 (Abstr.).
- Mahan, D. C., and R. G. Shields. 1998. Essential and nonessential amino acid composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight, and comparison to other studies. *J. Anim. Sci.* 76: 513-521.

- Martin, D., E. Muriel, E. González, J. Viguera, and J. Ruiz. 2008. Effect of dietary conjugated linoleic acid and monounsaturated fatty acids on productive, carcass and meat quality traits of pigs. *Livest. Sci.* 117: 155-164
- Mateos, G. G., P. G. Rebollar, y P. Medel. 1996. Utilización de grasas y productos lipídicos en alimentación animal: grasas puras y mezclas. XII Curso de especialización FEDNA. Madrid, España. Pp. 1-21.
- Migdal, W., P. Pasciak, D. Wojtysiak, T. Barowicz, M. Pieszka, and M. Pietras. 2004. The effect of dietary CLA supplementation on meat and eating quality, and the histochemical profile of the m. *longissimus dorsi* from stress susceptible fatteners slaughtered at heavier weights. *Meat Sci.* 66: 863-870.
- Murphy, J. 2000. Conjugated linoleic acid update. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Ontario, Canada. <http://www.omafra.gov>.
- Myer, R. O., and D. W. Gorbet. 2002. Crystalline amino acid supplementation of grain sorghum-based, low protein diets for growing and finishing swine. *J. Anim. Sci.* 80 (2): 41 (Abstr.).
- Ostrowska, E., M. Muralitharan, R. F. Cross, E. D. Bauman, and R. F. Dunshe. 1999. Dietary conjugated linoleic acids increase lean tissue and decrease fat deposition in growing pigs. *J. Nutr.* 129: 2037-2042.
- Otto, E. R., M. Yokoyama, P. K. Ku, N. K. Ames, and N. L. Trottier. 2003. Nitrogen balance and ileal amino acid digestibility in growing pigs fed diets reduced in protein concentration. *J. Anim. Sci.* 81: 1743-1753.
- Panetta, D. M., W. J. Powers, H. Xin, B. J. Kerr, and K. J. Stalder. 2006. Nitrogen excretion and ammonia emissions from pigs fed modified diets. *J. Environ. Qual.* 35: 1297-1308.
- Pariza, M. W., Y. Park, and E. M. Cook. 2000. Mechanisms of action of conjugated linoleic acid: evidence and speculation. *PSEBM* 223: 8-13.
- Pariza, M. W., Y. Park, and E. M. Cook. 2001. The biologically-active isomers of conjugated linoleic acid. *Prog. Lipid Res.* 40: 283-298.
- Park, Y., K. J. Albright, J. M. Storkson, M. E. Cook, and M. W. Pariza. 1997. Effects of conjugated linoleic acid on body composition in mice. *Lipids.* 32: 853-858.

- Park, Y., K. J. Albright, W. Liu, J. M. Storkson, M. E. Cook, and M. W Pariza. 1999. Changes in body composition in mice during feeding and withdrawal of conjugated linoleic acid. *Lipids* 34: 243-248.
- Parodi, P. 2003. Conjugated linoleic acid in food. In: *Advances in Conjugated Linoleic Acid Research*. J. Sebedio, W.W. Christie and R. Adolf (eds.). AOCS Press, Champaign, IL. 2: 101-121.
- Powers, W. J., S. B. Bastyr, and B. J. Kerr. 2005. Effect of reduced crude protein diets on gaseous emissions and swine performance. *Proceedings of International Workshop on Green Pork Production*. pp. 61-62.
- Powers, W. J., S. B. Zamzow, and B. J. Kerr. 2007. Reduced crude protein effects on aerial emissions from swine. *Appl. Eng. Agr.* 23 (4): 539-546.
- Powles, J., J. Wiseman, D. J. A. Cole, and S. Jagger. 1995. Prediction of the apparent digestible energy value of fats given to pigs. *Anim. Sci.* 61: 149-154.
- Ramsay, T. G., C. M. Evoke-Clover, N. C. Steele, and M. J. Azain. 2001. Dietary conjugated linoleic acid alters fatty acid composition of pig skeletal muscle and fat. *J. Anim. Sci.* 79: 2152-2161.
- Sanhueza, C. J., K. S. Nieto y B. A. Valenzuela. 2002. Ácido linoleico conjugado: un ácido graso con isomería trans potencialmente beneficioso. *Rev. Chil. Nutr.* 29 (2): 98-105.
- Sébédio, J. L., S. Gnaedig, and J. M. Chardigny. 1999. Recent advances in conjugated linoleic acid research. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 2: 499-506.
- Shantha, N. C., A. D. Crum, and E. A. Decker. 1994. Evaluation of conjugated linoleic acid concentrations in cooked beef. *J. Agric. Food Chem.* 42: 1757-1760.
- Shriver, J. A., S. D. Carter, A. L. Sutton, B. T. Richert, B. W. Senne, and L. A. Pettey. 2003. Effects of adding fiber sources to reduced-crude protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen excretion, growth performance, and carcass traits of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 81 (2): 492-502.
- Simopoulos, A., A. Leaf, and N. Salem. 1999. Essentiality of and recommended dietary intakes for omega-6 and omega-3 fatty acids. *Ann. Nutr. Metab.* 43: 127-130.

- Smith, S. B., T. S. Hively, G. M. Cortese, J. J. Han, K. Y. Chung, P. Castaneda, C. D. Gilbert, V. L. Adams, and H. J. Mersmann. 2002. Conjugated linoleic acid depresses the 9 desaturase index and stearyl coenzyme A desaturase enzyme activity in porcine subcutaneous adipose tissue. *J. Anim. Sci.* 80: 2110-2115.
- Starkey, C. W., J. D. Hancock, D. H. Kropf, C. L. Jones, K. H. Hachmeister, and J. D. Dunn. 2002a. Acidulated soapstock and restaurant grease in diets for finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 80 (2): 39 (Abstr.).
- Starkey, C. W., J. D. Hancock, C. L. Jones, and D. J. Lee. 2002b. Acidulated soapstock and restaurant grease in diets for nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 80 (2): 9 (Abstr.).
- Tartrakoon, W., K. Wuthijaree, and K. Udomsri. 2004. Reduction of N-excretion in growing-finishing pigs using low protein diets. Rural Poverty Reduction through Research for Development. Deutscher Tropentag, October 5-7, Berlin.
- Teye, G. A., P. R. Sheard, F. M. Whittington, G. R. Nute, A. Stewart, and J. D. Wood. 2006. Influence of dietary oils and protein level on pork quality. 1. Effects on muscle fatty acid composition, carcass, meat and eating quality. *Meat Sci.* 73: 157-165.
- Thiel-Cooper, R. L., F. C. Parrish, Jr., R. C. Ewan, J. Cunnick, J. A. Love, B. R. Wiegand, and J. C. Sparks. 2000. Conjugated linoleic acid fortification on CLA concentrations in pork. Swine Report, Iowa State University. Ames, IA.
- Thiel-Cooper, R. L., F. C. Parrish, Jr., J. C. Sparks, B. R. Wiegand, and R. C. Ewan. 2001. Conjugated linoleic acid changes swine performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 79: 1821-1828.
- Tsuboyama-Kasaoka, N., M. Takahashi, and K. Tanemura. 2000. Conjugated linoleic acid supplementation reduces adipose tissue by apoptosis and develops lipodystrophy in mice. *Diabetes* 49: 1534-1542.
- Tuitoek, K., L. G. Young, C. F. M. de Lange, and B. J. Kerr. 1997a. The effect of reducing excess dietary amino acids on growing-finishing pig performance: an evaluation of the ideal protein concept. *J. Anim. Sci.* 75: 1575-1583.
- Tuitoek, K., L. G. Young, C. F. M. de Lange, and B. J. Kerr. 1997b. Body composition and protein and fat accretion in various body components in growing gilts fed

- diets with different protein levels but estimated to contain similar levels of ideal protein. *J. Anim. Sci.* 75: 1584-1590.
- Valenzuela, A., J. Sanhueza, y S. Nieto. 2000. Ácidos grasos omega-3 de cadena larga en la nutrición humana y animal. *Rev. Chil. Nutr.* 27: 351-354.
- Vieira, S. L., E. S. Viola, J. Berres, J. L. B. Coneglian, D. M. Freitas, and T. C. K. Bortolini. 2006. Water intake and digestive metabolism of broilers fed all-vegetable diets containing acidulated soybean soapstock. *Braz. J. Poult. Sci.* 8 (3): 159-165.
- Wang, Y., and P. J. H. Jones. 2004. Dietary conjugated linoleic acid and body composition. *Am. J. Clin. Nutr.* 79: 1153-1158.
- Weber, T. E., A. P. Schinckel, K. L. Houseknecht, and B. T. Richert. 2001. Evaluation of conjugated linoleic acid and dietary antibiotics as growth promotants in weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 2542-2549.
- Wiegand, B. R., J. C. Sparks, F. C. Parrish, Jr., and D. R. Zimmerman. 2002. Duration of feeding conjugated linoleic acid influences growth performance, carcass traits, and meat quality of finishing barrows. *J. Anim. Sci.* 80: 637-643.
- Wiegand, B. R., F. C. Parrish, Jr., J. E. Swan, S. T. Larsen, and T. J. Baas. 2001. Conjugated linoleic acid improves feed efficiency, decreases subcutaneous fat, and improves certain aspects of meat quality in stress-genotype pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 2187-2195.
- Williams, W., C. G. Dossou, and F. Gunstone. 1997. Isomers in commercial samples of conjugated linoleic acid. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 74: 1231-1233.
- Wiseman, J., and F. Salvador. 1991. The influence of free fatty acid content and degree of saturation on the apparent metabolizable energy value of fats fed to broilers. *Poult. Sci.* 70: 573-582.
- Wood, J. D., G. R. Nute, R. I. Richardson, F. M. Whittington, O. Southwood, G. Plastow, R. Mansbridge, N. da Costa, and K. C. Chang. 2004. Effects of breed, diet and muscle on fat deposition and eating quality in pigs. *Meat Sci.* 67: 651-667.

- Wood, J. D., M. Enser, A. V. Fisher, G. R. Nute, P. R. Sheard, R. I. Richardson, S. I. Hughes, and F. M. Whittington. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci.* 78: 343-358.
- Zervas, S., and R. T. Zijlstra. 2002a. Effects of dietary protein and oathull fiber on nitrogen excretion patterns and postprandial plasma urea profiles in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 3238-3246.
- Zervas, S., and R. T. Zijlstra. 2002b. Effects of dietary protein and fermentable fiber on nitrogen excretion patterns and plasma urea in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 3247-3256.
- Zumbado, M. E., C. W. Scheele, and C. Warernaak. 1999. Digestibility and metabolizable energy content of different fat and oil by-products. *J. Appl. Poult. Res.* 8: 263-271.

CAPÍTULO I.
ADICIÓN DE ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO EN DIETAS BAJAS EN
PROTEÍNA PARA CERDOS EN ENGORDA

ADICIÓN DE ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO EN DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA PARA CERDOS EN ENGORDA

RESUMEN

El engrasamiento de la canal en cerdos es un aspecto no deseable que ocurre al alimentar con dietas bajas en proteína; el ácido linoleico conjugado (ALC) tiene efecto lipolítico y puede disminuir este problema. Se evaluaron tres concentraciones de proteína cruda (PC; iniciación: 20.5, 16 y 14.5 %; crecimiento: 16, 14.5 y 11.5 %; finalización: 14, 12.5 y 11 %) y dos de ALC (0 y 1 %) en 36 cerdos (Yorkshire×Landrace) machos castrados (17.3-83.5 kg) alojados individualmente, distribuidos en un diseño completamente al azar con arreglo factorial (3×2) por 84 d. Las dietas, basadas en sorgo-pasta de soya, fueron formuladas con base a aminoácidos digestibles verdaderos (NRC, 1998), y se proporcionaron *ad libitum*. En iniciación la ganancia diaria de peso (GDP), consumo de alimento (CAL) y peso final (PF) fueron mayores ($P \leq 0.05$) para las dietas con 20.5 y 16 % de PC vs 14.5 %; las dietas con 16 % de PC causaron más grasa dorsal (GD) y área del músculo *longissimus* (AML) comparado con el 14.5 % ($P \leq 0.05$); la ganancia de carne magra (GCM) fue menor para 14.5 % de PC ($P \leq 0.05$). El porcentaje de carne magra (PCM) y la concentración de urea plasmática (CUP) no fueron influidas por el contenido de PC ($P > 0.05$). En crecimiento, el PF y la GDP disminuyeron al bajar la PC ($P \leq 0.05$); el CAL fue mayor para la dieta con 16 % de PC comparado con 11.5 % ($P \leq 0.05$); la GCM fue menor ($P \leq 0.05$) al reducir la PC hasta 11.5 %; la GD y PCM no cambiaron ($P > 0.05$). El AML fue menor con 11.5 % de PC ($P \leq 0.05$); la CUP disminuyó hasta en 40 % al bajar la PC ($P \leq 0.05$). En finalización, el AML fue menor con 11 % de PC ($P = 0.07$) y la CUP disminuyó al reducir la PC ($P \leq 0.05$). En el análisis global, GDP y PF fueron mayores para el testigo y el contenido medio de PC, el CAL disminuyó al reducir la PC ($P \leq 0.05$); GCM y AML fueron mayores para el testigo y el contenido medio de PC ($P \leq 0.05$); la CUP disminuyó al reducir la PC ($P = 0.07$). El análisis de resultados indica que es posible reducir la PC de la dieta sin afectar la respuesta productiva; la inclusión de ALC no afectó las variables evaluadas.

Palabras clave: cerdos, dietas bajas en proteína, ácido linoleico conjugado.

ADDITION OF CONJUGATED LINOLEIC ACID TO LOW-PROTEIN DIETS FOR FATTENING BARROWS

ABSTRACT

Thickening of the carcass fat in pigs is an undesirable aspect that occurs when a low-protein diet is fed to pigs; conjugated linoleic acid (CLA) has lipolytic effect and may reduce this problem. Three concentrations of crude protein (CP; nursery: 20.5, 16 and 14.5%; growing: 16, 14.5 and 11.5 %; finishing: 14, 12.5 and 11 %) and two CLA (0 and 1 %) levels were fed to 36 fattening (17.3-83.5 kg) barrows (Yorkshire×Landrace), distributed in a completely randomized design with a (3×2) factorial arrangement of treatments during 84 d. The diets, based on sorghum-soybean meal, were formulated based on true digestible amino acids (NRC, 1998). In nursery phase, the average daily gain (ADG), average daily feed intake (ADFI) and final body weight (FBW) were higher ($P \leq 0.05$) for diets with 20.5 and 16 % vs 14.5 % CP; diets with 16% of CP caused more backfat thickness (BFT) and longissimus muscle area (LMA) compared to 14.5% ($P \leq 0.05$), the fat free lean gain (FFLG) was lower at 14.5 % of CP ($P \leq 0.05$). The percentage of lean meat (PLM) and plasma urea nitrogen concentration (PUN) were not influenced by the CP content ($P > 0.05$). In growing pigs, the FBW and ADG decreased by lowering the CP ($P \leq 0.05$); the ADFI was greater for pigs fed 16 % CP diet compared to 11.5 % ($P \leq 0.05$); the FFLG was lower ($P \leq 0.05$) when CP was reduced to 11.5 %; BFT and PLM were not affected ($P > 0.05$); LMA was lower with 11.5 % CP ($P \leq 0.05$); and the PUN decreased up to 40 % when CP was lowered ($P \leq 0.05$). In finishing pigs, LMA was lower with 11% CP ($P = 0.07$) and the PUN decreased when CP was reduced ($P \leq 0.05$). In the global analysis, ADG and FBW were higher for the control pigs and the intermediate content of CP; ADFI decreased by reducing the CP ($P \leq 0.05$); FFLG and LMA were higher for the control and the intermediate content of CP ($P \leq 0.05$); and the PUN decreased when reducing the CP ($P = 0.07$). These results indicate that the CP can be reduced in the diet without affecting growth performance and carcass characteristics; the inclusion of CLA did not affect the analyzed variables.

Keywords: pigs, diets low in protein, conjugated linoleic acid.

INTRODUCCIÓN

La reducción en el contenido de proteína cruda (PC) en la dieta (sorgo o maíz-pasta de soya) para cerdos, hasta en 4 %, asociada con una adecuada adición de aminoácidos (AA) sintéticos, no influye negativamente en la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia de los cerdos y ayuda a reducir la excreción de nitrógeno fecal y urinario (Canh *et al.*, 1998; Kerr *et al.*, 2003a,b; Shriver *et al.*, 2003). Adicionalmente, se reduce el gasto de energía asociada a la excreción del exceso de PC como urea, baja la producción de calor metabólico al disminuir la excreción de urea y la energía disponible se destina a la síntesis de lípidos (Le Bellego *et al.*, 2002), propiciando un aumento en la acumulación de grasa en la canal de los cerdos alimentados con dietas bajas en proteína (DBP; Tuitoek *et al.*, 1997b; Knowles *et al.*, 1998; Figueroa *et al.*, 2003). Este aspecto es negativo debido a que el consumidor busca productos cárnicos con una mayor cantidad de tejido magro y menor grasa pero con mejor marmoleo.

Con la adición de ácido linoleico conjugado (ALC) en la dieta es posible reducir el engrasamiento en los cerdos. Este compuesto es un isómero posicional del ácido linoleico, un ácido graso esencial de la familia omega-6 (Jensen, 2002). El efecto biológico del ALC para aumentar la síntesis de tejido magro y reducir el depósito de tejido graso, se atribuye a su efecto en enzimas involucradas en el metabolismo de ácidos grasos, y al aumento de β -oxidación en músculo esquelético o aumento en el gasto energético (Park y Pariza, 2007). Estos efectos del ALC han sido documentados en experimentos con modelos animales como ratones y hámsteres (Pariza *et al.*, 2000); en cerdos se ha observado que mejora la respuesta productiva y características de la canal (Thiel-Cooper *et al.*, 2001; Wiegand *et al.*, 2001; Su *et al.*, 2006). La incorporación de ALC en la dieta de cerdos incrementa su concentración en la carne (Wiegand *et al.*, 2002; Lauridsen *et al.*, 2005; Schmid *et al.*, 2006), modifica el tipo y concentración de otros ácidos grasos, lo cual puede mejorar el procesamiento de la carne (Eggert *et al.*, 2001; King *et al.*, 2004). Consecuentemente, enriquecer la carne con ALC tiene beneficios en la nutrición y salud humana por sus propiedades preventivas y terapéuticas en enfermedades

como cáncer, inflamación crónica, aterosclerosis, obesidad y su función como antioxidante (Roche *et al.*, 2001).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la inclusión de ácido linoleico conjugado en sustitución de aceite crudo de soya, en dietas bajas en proteína basadas en sorgo-pasta de soya para cerdos en engorda en la respuesta productiva, las características de la canal y la concentración de urea en plasma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cerdos y diseño experimental

El experimento se efectuó en la Unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, en Tecámac, Estado de México. Se utilizaron 36 cerdos machos castrados (Yorkshire×Landrace) con un peso inicial de 17.3 ± 2.0 kg; el diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial (3×2) de tratamientos, para evaluar tres concentraciones de proteína cruda y dos de ácido linoleico conjugado (en sustitución de aceite crudo de soya; Cuadros 2.1, 2.2 y 2.3), con seis repeticiones por tratamiento. Se evaluaron las etapas de iniciación (21 d), crecimiento (28 d), y finalización (35 d). Los modelos estadísticos fueron los siguientes (Steel *et al.*, 1997): $Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$, ó $Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \beta(\text{PI}) + \epsilon_{ijk}$ (cuando se usó el peso inicial como covariable); donde: Y_{ijk} = variable de respuesta en la k-ésima repetición del j-ésimo contenido de B e i-ésimo contenido de A; μ = media general; A_i = efecto del factor A (proteína) al contenido i; B_j = efecto del factor B (tipo de aceite) al contenido j; $(AB)_{ij}$ = efecto de la interacción AB al contenido ij; β = coeficiente de la covariable (PI = peso inicial de los cerdos); ϵ_{ijk} = error experimental asociado con cada unidad experimental suponiendo $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$.

Dietas y manejo de los cerdos

Las dietas estuvieron basadas en sorgo-pasta de soya y fueron formuladas para aminoácidos digestibles verdaderos (NRC, 1998) y satisfacer o exceder el requerimiento nutricional para cada etapa de crecimiento de los cerdos (Cuadros 1.1, 1.2, 1.3). La formulación de las dietas se realizó con Microsoft Excel (2001) mediante

el optimizador *Solver*. Las concentraciones de proteína evaluadas en cada etapa corresponden a un testigo (utilizado en dietas estándar); la primer concentración de baja proteína que no afectó el comportamiento productivo; y una concentración de proteína donde la urea en plasma fue menor para cerdos en iniciación (Trujillo *et al.*, 2007), crecimiento (Martínez-Aispuro *et al.*, 2009), y finalización (Figueroa *et al.*, 2008). Los cerdos se alojaron en corrales individuales de 1.2×1.5 m, con piso de concreto, equipados con comedero tipo tolva de una boca y bebedero tipo chupón. El alimento y el agua se proporcionaron *ad libitum*. La limpieza de corrales, inspección del estado de salud e integridad física de los cerdos se realizó diariamente.

Registro de datos, toma de muestras y análisis de laboratorio

El cambio de peso de los cerdos para determinar la ganancia diaria de peso (GDP), así como el consumo de alimento (CAL) y la conversión alimenticia (CA), se obtuvieron semanalmente y, para el análisis estadístico, se utilizó el promedio de las variables para cada etapa. Al final de cada etapa se tomaron muestras de sangre mediante punción en la vena cava utilizando tubos Vacutainer con heparina (BD Vacutainer Systems, NJ, USA.); la sangre fue centrifugada 15 min a 2500 rpm (1286 g), el sobrenadante se transfirió a tubos de polipropileno y se almacenó a -20 °C hasta que se realizó el análisis de concentración de urea en plasma (CUP; Chaney y Marbach, 1962). Al inicio y al final de cada etapa se midieron la grasa dorsal (GD) y área del músculo *longissimus* (AML), utilizando un ultrasonido de tiempo real Sonovet 600 y un transductor convexo (Medison, Inc., Cypress, California, USA). Con esta información y con los pesos inicial y final se calculó la ganancia de carne magra (GCM) utilizando la ecuación de NPPC (1991) y con parte de la misma ecuación se obtuvo el porcentaje de carne magra en la canal (CM). En las dietas experimentales se determinó el contenido de proteína cruda (AOAC, 1990).

Análisis estadístico

Las variables evaluadas se analizaron con el procedimiento GLM de SAS (2002) y con los modelos estadísticos indicados; el peso inicial de los cerdos fue usado como covariable en los modelos de las variables que lo requirieron. Para la

comparación de medias entre tratamientos o efectos principales fue utilizada la prueba de Tukey o LSMEANS ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS

Iniciación

En esta etapa (Cuadro 1.4) no se observó efecto de la interacción ALC con el contenido de proteína ($P > 0.05$). En el comportamiento productivo, la reducción en la PC en seis unidades porcentuales disminuyó la ganancia diaria de peso (GDP) y el peso final (PF; $P \leq 0.05$). El CAL fue menor para las dietas con 14.5 % de PC ($P \leq 0.05$), la CA no fue afectada ($P > 0.05$) por el contenido de PC en la dieta ($P > 0.05$). La GDF y AMLF fueron mayores en los cerdos que consumieron la dieta con 16 % de proteína ($P \leq 0.05$), pero disminuyeron en los cerdos que consumieron la dieta con 14.5 %; la GCM no cambió con 20.5 y 16 % de PC, pero al reducir a 14.5 % disminuyó en 40 g d^{-1} ($P \leq 0.05$). El porcentaje de CMF y la CUP no fueron afectadas ($P > 0.05$) por la concentración de proteína dietaria. La incorporación de ALC en la dieta no afectó el comportamiento productivo, las características de la canal o CUP ($P > 0.05$).

Crecimiento

En el Cuadro 1.5 se observa que no hubo interacción entre el contenido de proteína y de ALC ($P > 0.05$). La reducción de la proteína en la dieta a 11.5 % resultó en menor PF y GDP ($P \leq 0.05$), el CAL fue mayor para la dieta testigo (16 %) con respecto a 11.5 % de PC ($P \leq 0.05$), la CA no se afectó ($P > 0.05$) por el contenido de PC.

La GCM no cambió cuando la proteína disminuyó 1.5 %, pero la concentración de 11.5 % redujo la GCM en 58 g d^{-1} ($P \leq 0.05$). La GDF y CMF no cambiaron por la proteína dietética ($P > 0.05$). El AMLF fue menor ($P \leq 0.05$) para 11.5 % de proteína en 483 y 419 mm^2 , con respecto a 14.5 y 16 % de proteína. La CUP fue menor en 8.5 y 39 % en los cerdos que consumieron las dietas con 14.5 y 11.5 % de PC con respecto a los de la dieta testigo ($P \leq 0.05$). La adición de ALC no influyó ($P > 0.05$) en las variables evaluadas.

Finalización

Los resultados se presentan en el Cuadro 1.6, donde se observa que la interacción de los factores evaluados no influyó ($P>0.05$) en las variables estudiadas. La concentración de proteína redujo ($P=0.07$) el AMLF cuando la proteína bajó de 14 a 11 %; la CUP fue menor al disminuir la proteína en la dieta ($P\leq 0.05$). No se observó efecto ($P>0.05$) del ALC en las variables analizadas.

Periodo total de engorda

El análisis de resultados de todo el experimento (Cuadro 1.7) muestra que la adición del ALC y la interacción de los factores no afectaron la respuesta de los cerdos. El contenido de proteína afectó ($P\leq 0.05$) la GDP y el PF que fueron similares para la concentración testigo y el nivel intermedio de proteína, pero la concentración más baja presentó 12 kg menos de ganancia. El CAL disminuyó ($P\leq 0.05$) en los cerdos que consumieron las dietas con menor contenido de proteína; la CA no presentó diferencia estadística ($P>0.05$).

La GCM se redujo en los cerdos que consumieron las dietas con menor contenido de proteína ($P\leq 0.05$). El AMLF fue similar para el grupo testigo y con el contenido intermedio de proteína en la dieta y fue menor ($P\leq 0.05$) para el grupo con la concentración más baja de PC. La GDF y porcentaje de CMF fueron similares con distinto contenido de proteína ($P>0.05$). La CUP se redujo al bajar la proteína en la dieta ($P=0.07$).

DISCUSIÓN

Comportamiento productivo

En el presente experimento, en la etapa de iniciación, la reducción de 4.5 unidades porcentuales de proteína no cambió el comportamiento productivo, aunque existió deficiencia marginal de algunos aminoácidos en la dieta; una mayor reducción en la proteína disminuyó la GDP, pero la CA fue similar para las concentraciones evaluadas. Este resultado se ha reportado en cerdos de 5 a 20 kg de peso consumiendo dietas con 17 % PC + aminoácidos, que mantienen un comportamiento productivo similar al obtenido con 21 % de PC en dietas con base en sorgo-pasta de

soya (Hansen *et al.*, 1993a). Resultados similares fueron observados con dietas basadas en maíz-pasta de soya al reducir cuatro (Kerr *et al.*, 1995) o 5.5 unidades porcentuales la PC (Le Bellego y Noblet, 2002) en cerdos de iniciación.

En la etapa de crecimiento, la GDP y CAL se mantuvieron al bajar 1.5 unidades porcentuales la proteína, pero disminuyeron con una mayor reducción, aunque se mantuvo la CA que fue similar entre las concentraciones de proteína evaluadas. En cerdos que consumen DBP + aminoácidos sintéticos se observa menor CAL que los que consumen proteína intacta, es decir que cuando el cerdo cubre sus necesidades con un mejor balance de aminoácidos, el CAL se reduce (Le Bellego *et al.*, 2002). Además, el CAL es similar al bajar 4 unidades porcentuales la PC con una adecuada adición de aminoácidos (Kerr *et al.*, 2003ab; Shriver *et al.*, 2003). Una reducción similar de la PC no influye en la GDP (Shriver *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2000; Kerr *et al.* 2003a,b) ni en la eficiencia alimenticia (EA) (Kerr *et al.*, 1995), pero disminuir aún más la PC en la dieta baja la respuesta al hacer limitantes aminoácidos como isoleucina y valina (Hansen *et al.*, 1993b; Figueroa *et al.*, 2002). También, la baja respuesta con DBP puede atribuirse a que con la reducción en el contenido de proteína en la dieta puede faltar nitrógeno necesario para la síntesis de aminoácidos no esenciales (Tuitoek *et al.*, 1997a; Heger *et al.*, 1998), puesto que en condiciones de adecuado uso de la proteína, parte de los aminoácidos esenciales son parcialmente degradados y usados en la síntesis de aminoácidos no esenciales (Heger *et al.*, 1998). De esta forma, con un aporte adecuado de aminoácidos esenciales y no esenciales se puede obtener el máximo crecimiento y reducir la acumulación de grasa en cerdos consumiendo DBP (Deng *et al.*, 2007).

Las variables productivas en cerdos en finalización consumiendo DBP en este experimento no cambiaron; esta respuesta ha sido observada con una reducción de hasta cuatro unidades porcentuales en el contenido de PC + AA (Kerr *et al.*, 1995; Knowles *et al.*, 1998; Kerr *et al.*, 2003b); contrariamente, la GDP se ha disminuido al proporcionar DBP (Figueroa *et al.*, 2004). La eficiencia alimenticia (EA) es similar al reducir cuatro unidades porcentuales la proteína dietética con adición de aminoácidos (Kerr *et al.*, 1995; Canh *et al.*, 1998) o ha disminuido al reducir de 16 a 13 % la PC en dietas para cerdos de 55 a 100 kg (Tuitoek *et al.*, 1997a). La CA

aumenta al reducirse el contenido de PC de la dieta (Kerr *et al.* 2003b; Figueroa *et al.*, 2004); esta respuesta puede ser atribuida a que isoleucina o valina pueden limitar el crecimiento y aumentar el consumo en finalización al reducir la PC de la dieta en cuatro o más unidades porcentuales al no cubrir el requerimiento de dichos AA (Liu *et al.*, 1999).

En iniciación y crecimiento, la adición de ALC no mejoró las variables evaluadas; pero se ha observado que con adición de 2 % de ALC en la dieta aumenta la GDP en 12 % y la CA en 9 %, sin afectar el CAL; además mejora la inmunidad celular y humoral en lechones, lo cual es importante en cerdos de corta edad que no tienen el tubo digestivo maduro para aumentar la defensa ante diversos patógenos, lo que hace posible una mejor respuesta productiva en esta etapa (Lai *et al.*, 2005). En cerdos de 20-55 kg de peso alimentados con hasta 2 % de ALC en reemplazo de aceite de maíz, no se observaron diferencias en el comportamiento productivo (Ramsay *et al.*, 2001).

En machos castrados en crecimiento-finalización (26.3-114 kg) alimentados con hasta 1 % de isómeros de ALC, se incrementa linealmente la GDP y la EA (Thiel-Cooper *et al.*, 2001); esta mejora en la EA también se ha presentado en cerdos de 40-100 kg alimentados con dietas adicionadas con 0.75 % de isómeros de ALC (Wiegand *et al.*, 2001). La inclusión de 1 % en la dieta de una fuente de ALC al 60 %, en cerdos de 49-113 kg, no afecta el comportamiento productivo (Averette-Gatlin *et al.*, 2002), lo cual es parecido a los resultados observados en esta investigación con una concentración similar. Sin embargo, la sustitución de aceite de girasol por 0.5 % de ALC mejora la eficiencia alimenticia en 4.7 % en cerdos de 40-100 kg, y la GDP tiende ($P=0.06$) a aumentar (Lauridsen *et al.*, 2005); en cerdos de 37.6-72.6 kg consumiendo 0.5 % de ALC en sustitución de aceite de soya se obtuvieron 60 g d^{-1} menos de GDP (O'Quinn *et al.*, 2000).

Según Bee (2001) la adición de 2 % de ALC no influye en el comportamiento productivo en cerdos en finalización (70-106 kg), comparado con el de cerdos que recibieron dietas con ácido linoleico o manteca de cerdo, y alimentación restringida. Resultados similares se han obtenido con 2 % de ALC en dietas para cerdos de 70-130 kg con alimentación restringida (Migdal *et al.*, 2004); o con la adición de 1 o 2 %

de ALC en dietas para cerdas de 70-107 kg, con alimentación a libre acceso (Martin *et al.*, 2008). Una mayor concentración de ALC (3 %) en la dieta de cerdos en finalización (60-120 kg), por periodos prolongados, incrementa el CAL (Su *et al.*, 2006). En machos castrados de 63.8-98.9 kg de peso, alimentados con 4 % ALC en sustitución de aceite de soya, se mejoró la GDP (+110 g d⁻¹) y la CA fue menor en 5 %; además, la adición con ALC por mayor tiempo (3 vs. 6 semanas) mejoró la GDP y CA en cerdos de 64 a 99.8 kg (Sun *et al.*, 2004). También, hay un mejor uso del alimento con la inclusión de 0.55 % de isómeros de ALC en la dieta de cerdos en finalización, ya que se mejora en 6.3 % la EA (Ostrowska *et al.*, 1999); además, el efecto de ALC para mejorar la EA es el mismo si se comienza a los 28 o 56 kg de peso y hasta los 115 kg (Wiegand *et al.*, 2002). Eggert *et al.* (2001) evaluó la inclusión de 1 % de ALC o de aceite de girasol en cerdas en finalización (75-120 kg) y señala que la GDP disminuye 20 %, pero el CAL y EA no fueron afectados. Los cerdos en crecimiento-finalización consumiendo dietas con bajo contenido de grasa en la dieta tienen mejor respuesta a la adición de ALC (Dugan *et al.*, 2001); sin embargo, en la dietas evaluadas en el presente experimento el contenido de grasa fue bajo con respecto a esa investigación y no se observaron diferencias significativas debido a la inclusión de ALC. Otro factor que puede afectar la respuesta al ALC es la capacidad genética para ganancia magra de los cerdos, pero se ha observado que la sustitución de 1 % de ALC por aceite de girasol en cerdas con distinto potencial genético durante la fase de engorda, no cambia el comportamiento productivo (Schinckel *et al.*, 2000); por tanto, el tipo de cerdos utilizados en el presente experimento no pudo haber limitado la respuesta a la adición de 1 % de ALC en la dieta.

Características de la canal

La alimentación con DBP adicionadas con aminoácidos incrementa la retención de energía corporal en cerdos machos en crecimiento (Kerr y Easter, 1995), provocando mayor grasa corporal en cerdos en crecimiento-finalización (Tuitoek *et al.*, 1997a). El incremento en la retención de energía como grasa se ha presentado al disminuir más de tres unidades porcentuales la PC en la dieta para cerdos de 100 kg

(Le Bellego *et al.*, 2001). Otros reportes coinciden en que aumenta la grasa de los animales alimentados con DBP + AA (Schoenherr, 1992; Kerr *et al.*, 1995; Cromwell *et al.*, 1996; Gómez *et al.*, 2002b). En contraste, también se ha observado que la GD es similar al reducir la proteína en cuatro unidades porcentuales (Canh *et al.*, 1998), o cuando la proteína cruda total se redujo 22 % no aumentó la grasa en cerdos en crecimiento o finalización (Tuitoek *et al.*, 1997a). Estos resultados coinciden con lo encontrado en las etapas de crecimiento y finalización en el presente experimento, pero en la etapa de iniciación la reducción en el contenido de PC causó menor depósito de grasa dorsal en los lechones.

La GCM y la acumulación de lípidos en cerdos no cambia al reducirse la proteína cuatro unidades porcentuales (Kerr *et al.*, 2003b); en otros casos disminuye GCM y AML al reducir la misma concentración la proteína en la dieta pero en cerdas en crecimiento, sin cambio en la GD (Figueroa *et al.*, 2002). También se ha reportado que a pesar de la reducción en el AML en cerdos alimentados con DBP, otras características de la canal, como GCM, GD y %CM, no cambian por el contenido de proteína en la dieta (Kerr *et al.*, 2003b). En otros trabajos no se encontraron diferencias en el AML entre el testigo y la DBP + AA (Kerr *et al.*, 1995; Knowles *et al.*, 1998); sin embargo, en la presente investigación se redujo el AML en la etapa de iniciación y crecimiento por efecto de la concentración de PC, similar a lo encontrado en otros experimentos (Shriver *et al.*, 1999; Liu *et al.*, 1999; Figueroa *et al.*, 2003).

La inclusión de 0.5 % de inclusión de ALC en la dieta de cerdos en crecimiento-finalización no produce cambio en el porcentaje de CM y GD (O'Quinn *et al.*, 2000; Lauridsen *et al.*, 2005). Contrariamente, el depósito de grasa se puede reducir hasta 31 % con la adición de 1 % ALC; consecuentemente, la relación grasa: carne magra disminuye con el incremento en la concentración de ALC. Además, el depósito de carne magra tiene una respuesta cuadrática a la concentración de ALC, encontrando la máxima respuesta con 0.5 % de ALC en la dieta de cerdos en finalización (Ostrowska *et al.*, 1999). El AML no cambia por efecto de concentraciones de hasta 2 % de ALC; la GD aumenta en cerdos en crecimiento con concentraciones de 0.25 y 0.5 % de ALC comparado con aceite de maíz (Ramsay *et al.*, 2001), por lo que durante esta etapa no tiene beneficio su adición y probablemente el efecto positivo

en la acumulación de lípidos sea más notable en cerdos en finalización. Además, la adición del ALC en la dieta de cerdos es aceptable si el costo del ALC en la dieta se paga al obtener un producto con valor agregado por mejor calidad de la carne (mejor marmoleo, menor grasa, mayor firmeza; Wiegand *et al.*, 2001).

El bajo efecto en las características de la canal en los cerdos consumiendo ALC encontrado en el presente experimento se ha reportado con una concentración similar (1 %), y sólo hay aumento en la puntuación de la grasa intramuscular de 18.8 % en cerdos de 49-113 kg (Averette-Gatlin *et al.*, 2002). La adición de 2 % de ALC no afecta el porcentaje de CM y AML en cerdos de 70 a 106 kg. El grosor de la grasa a la altura del músculo *longissimus* es menor para los cerdos que consumen ALC comparado con ácido linoleico o manteca de cerdo (Bee, 2001). En otros experimentos no hubo efecto de la adición de 1 o 2 % de ALC en las características de la canal de cerdas en finalización alimentadas a libre acceso (Eggert *et al.*, 2001; Martin *et al.*, 2008), o con 2 % en cerdos con alimentación restringida (Migdal *et al.*, 2004). La canal de cerdos alimentados con dietas conteniendo hasta 1 % de isómeros de ALC en las fases de crecimiento-finalización, presenta menor grasa subcutánea al medirse con ultrasonido o en la canal de los animales; el AML disminuye con medición directa en la canal con dosis mayores a 0.5 % de ALC y la medición con ultrasonido indica un incremento por efecto del ALC (Thiel-Cooper *et al.*, 2001). Este es otro factor que puede afectar los resultados obtenidos, por la metodología empleada para evaluar las variables de respuesta.

La adición de isómeros de ALC (1.5 o 3.0 g kg⁻¹) durante el periodo de rápida acumulación de grasa (90-120 kg) en machos castrados reduce el depósito de grasa e incrementa el porcentaje de CM (Su *et al.*, 2006); por lo que el periodo de alimentación con ALC es un factor importante en la respuesta obtenida (Azain, 2003). En cerdos TBP (TLRI Black Pig) el contenido de grasa en la carne aumenta si el periodo de alimentación con ALC es mayor comparando el inicio a los 60 o 90 kg hasta los 120 kg de peso (Su *et al.*, 2006). Wiegand *et al.* (2002) reportan que la inclusión de 0.75 % de isómeros de ALC en la dieta de cerdos (56 a 115 kg de peso) incrementa el AML y disminuye la GD; este efecto es el mismo que si se consume desde los 28 kg. En cerdos castrados (63.8-98.9 kg) con un mayor tiempo de

consumo de ALC (3 vs 6 semanas) en alta concentración (4 %), la grasa dorsal disminuye en mayor grado, el AML y la grasa intramuscular aumentan (Sun *et al.*, 2004). En el presente experimento, el periodo de tratamiento fue mayor a los mencionados, sin presentarse cambio detectable en las características mencionadas. También se plantea que cerdos con mayor grasa subcutánea responden mejor al tratamiento con ALC que los cerdos de alta capacidad genética para ganancia magra y bajo contenido de grasa subcutánea (Azain, 2003). Pero el ALC mejora la calidad de la carne de cerdos genéticamente magros por el cambio en el contenido de ácidos grasos y por la reducción en la grasa dorsal, efecto que está en función del tiempo que se consume la dieta adicionada con ALC (Schinckel *et al.*, 2000).

Concentración de urea plasmática

Al reducir la proteína en la dieta la CUP se reduce linealmente (Figuroa *et al.*, 2002, 2003; Gómez *et al.*, 2002a; Kerr *et al.*, 2003a), como se observó en el presente experimento en las etapas de crecimiento y finalización. La menor CUP se relaciona con la disminución en la producción de calor metabólico asociado con la síntesis y excreción de urea provenientes del exceso de aminoácidos (Kerr *et al.*, 2003a). La reducción en CUP en cerdos alimentados con dietas con base a proteína ideal comparados con las de proteína intacta, indica que hay exceso de aminoácidos en las dietas estándar. Además, los cerdos alimentados con DBP utilizan la proteína más eficientemente que los que consumen proteína intacta, pues se retiene igual cantidad de nitrógeno que en dietas estándar si la disminución en la PC es la óptima (Shriver *et al.*, 2003; Otto *et al.*, 2003); la excreción fecal y urinaria puede reducirse en 10 % por unidad porcentual que se reduce la proteína (Sutton *et al.*, 1999; Shriver *et al.*, 2003). También se menciona que la excreción de N en orina se relaciona en forma lineal y positiva con la CUP en cerdos, por lo que reducir la proteína dietaria es una alternativa para reducir la excreción total de nitrógeno urinario y una forma indirecta de medir la cantidad de nitrógeno que se aprovecha y desperdicia (Zervas y Zijlstra, 2002a, 2002b). Con las DBP indirectamente se reduce la emisión de amoníaco producido por el exceso de nitrógeno dietético (Canh *et al.*, 1998; Hayes *et*

al., 2004), pero debe considerarse que si la reducción en la PC no es adecuada, el comportamiento productivo y características de la canal serán afectados.

En el caso del ALC, la adición de 1 % en dietas para cerdos en crecimiento (Ramsay *et al.*, 2001) o 0.75 % para cerdos en finalización (105-153 kg; Corino *et al.*, 2008) no modifica la CUP, como se observó en las etapas evaluadas en el presente experimento, indicando que no tiene efecto en el metabolismo de la proteína y su función está dirigida al metabolismo de lípidos.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Reducir el contenido de proteína cruda en la dieta de cerdos de engorda a 16 % en el periodo de iniciación, 14.5 % en crecimiento y 12.5 % en finalización, mantiene la respuesta productiva, no afecta características de la canal y disminuye la concentración de urea plasmática produciendo una menor excreción de nitrógeno.

La adición de ácido linoleico conjugado a dietas estándar o bajas en proteína, no influye en el comportamiento productivo y características de la canal, por lo que su adición no es justificable si su costo es superior en comparación con otras fuentes de energía como el aceite crudo de soya.

LITERATURA CITADA

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis (15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA. 1298 p.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis (17th Ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC. 556 p.
- Averrete-Gatlin, L., M. T. See, D. K. Larick, X. Lin and J. Odle. 2002. Conjugated linoleic acid in combination with supplemental dietary fat alters pork fat quality. *J. Nutr.* 132: 3105-3112.
- Azain, M. J. 2003. Conjugated linoleic acid and its effects on animal products and health in single-stomached animals. *Proc. Nutr. Soc.* 62: 319-328.

- Bee, G. 2001. Dietary conjugated linoleic acids affect tissue lipid composition but not *de novo* lipogenesis in finishing pigs. *Anim. Res.* 50:383-399.
- Canh, T. T., A. J. A. Aarnink, J. B. Schutte, A. Sutton, D. J. Langhout, and M. W. A. Verstegen. 1998. Dietary protein affects nitrogen excretion and ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *Livest. Prod. Sci.* 56: 181-191.
- Chaney, A. L., and E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8: 130-132.
- Corino, C., M. Musella, G. Pastorelli, R. Rossi, K. Paolone, L. Costanza, A. Manchisi, and G. Maiorano. 2008. Influences of dietary conjugated linoleic acid (CLA) and total lysine content on growth, carcass characteristics and meat quality of heavy pigs. *Meat Sci.* 79: 307-316.
- Cromwell, G. L., M. D. Lindemann, G. R. Parker, K. M. Laurent, R. D. Coffey, H. J. Monegue, and J. R. Randolph. 1996. Low protein, amino acid supplemented diets for growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 74 (1): 174 (Abst.).
- Deng, D., A. K. Li, W. Y. Chu, R. L. Huang, T. J. Li, X. F. Kong, Z. J. Liu, G. Y. Wu, Y. M. Zhang, and Y. L. Yin. 2007. Growth performance and metabolic responses in barrows fed low-protein diets supplemented with essential amino acids. *Liv. Sci.* 109 (3): 224-227.
- Dugan, M. E. R., J. L. Aalus, K. A. Lien, A. L. Schaefer, and J. K. G. Kramer. 2001. Effects of feeding different levels of conjugated linoleic acid and total oil to pigs on live animal performance and carcass composition. *Can. J. Anim. Sci.* 81: 505-510.
- Eggert, J. M., M. A. Belury, A. Kempa-Steczko, S. E. Mills, and A. P. Schinckel. 2001. Effects of conjugated linoleic acid on the belly firmness and fatty acid composition of genetically lean pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 2866-2872.
- Figuroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, R. S. Gómez, and R. M. Diedrichsen. 2002. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 80: 2911-2919.
- Figuroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, and R. M. Diedrichsen. 2003. Growth, carcass traits, and plasma amino acid concentrations of gilts fed low-

- protein diets supplemented with amino acids including histidine, isoleucine, and valine. *J. Anim. Sci.* 81: 1529-1537.
- Figuroa, J. L., M. Cervantes, J. M. Cuca, y M. Méndez. 2004. Respuesta de cerdos en crecimiento y finalización a dietas con baja proteína y energía. *Agrociencia* 38: 383-394.
- Figuroa, J. L., M. Martínez, J. E. Trujillo, V. Zamora, J. L. Cordero, and M. T. Sánchez-Torres. 2008. Plasma urea nitrogen concentration and growth performance of finishing pigs fed sorghum-soybean meal, low-protein diets. *J. Appl. Anim. Res.* 33: 7-12.
- Gómez, R. S., A. J. Lewis, P. S. Miller, and H. Y. Chen. 2002a. Growth performance, diet apparent digestibility, and plasma metabolite concentrations of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *J. Anim. Sci.* 80: 644-653.
- Gómez, R. S., A. J. Lewis, P. S. Miller, H. Y. Chen, and R. M. Diedrichsen. 2002b. Body composition and tissue accretion rates of barrows fed corn-soybean meal diets on low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *J. Anim. Sci.* 80: 654-662.
- Hansen, J. A., D. A. Knabe, and K. G. Burgoon. 1993a. Amino acid supplementation of low-protein, sorghum-soybean meal diets for 5- to 20-kilogram swine. *J. Anim. Sci.* 71 (2): 452-458.
- Hansen, J. A., D. A. Knabe, and K. G. Burgoon. 1993b. Amino acid supplementation of low-protein, sorghum-soybean meal diets for 20- to 50-kilogram swine. *J. Anim. Sci.* 71 (2): 442-451.
- Hayes, E. T., A. B. G. Leek, T. P. Curran, V. A. Dodd, O. T. Carton, V. E. Beattie, and J. V. O'Doherty. 2004. The influence of dietary crude protein level on odor and ammonia emissions from finishing pig houses. *Biores. Tech.* 91 (3): 309-315.
- Heger, J., S. Mengesha, and D. Vodehnal. 1998. Effect of essential: total nitrogen ratio on protein utilization in the growing pig. *Br. J. Nutr.* 80: 537-544.
- Jensen, R. G. 2002. The composition of bovine milk lipid: January 1995 to December 2000. *J. Dairy Sci.* 85: 295-350.

- Kerr, B. J., and R. A. Easter. 1995. Effect of feeding reduced protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen and energy balance in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 73 (10): 3000-3008.
- Kerr, B. J., F. K. McKeith, and R. A. Easter. 1995. Effect on performance and carcass characteristics of nursery to finisher pigs fed reduced crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 73: 433-440.
- Kerr, B. J., J. T. Yen, J. A. Nienaber, and R. A. Easter. 2003a. Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 1998-2007.
- Kerr, B. J., L. L. Southern, T. D. Bidner, K. G. Friesen, and R. A. Easter. 2003b. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 81: 3075-3087.
- King, D. A., J. M. Behrends, B. E. Jenschke, R. D. Rhoades, and S. B. Smith. 2004. Positional distribution of fatty acids in triacylglycerols from subcutaneous adipose tissue of pigs fed diets enriched with conjugated linoleic acid, corn oil, or beef tallow. *Meat Sci.* 67: 675-681.
- Knowles, T. A., L. L. Southern, T. D. Bidner, B. J. Kerr, and K. G. Friesen. 1998. Effect of dietary fiber or fat in low-crude protein, crystalline amino acid-supplemented diets for finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 76: 2818-2832.
- Lai, C., J. Yin, D. Li, L. Zhao, and X. Chen. 2005. Effects of dietary conjugated linoleic acid supplementation on performance and immune function of weaned pigs. *Arch. Anim. Nutr.* 59 (1): 41-51.
- Lauridsen, C., H. Mu, and P. Henckel. 2005. Influence of dietary conjugated linoleic acid (CLA) and age at slaughtering on performance, slaughter- and meat quality, lipoproteins, and tissue deposition of CLA in barrows. *Meat Sci.* 69: 393-399.
- Le Bellego, L., J. van Milgen, S. Dubois, and J. Noblet. 2001. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79:1259-1271.
- Le Bellego, L., and J. Noblet. 2002. Performance and utilization of dietary energy and amino acids in piglets fed low protein diets. *Livest. Prod. Sci.* [76](#): 45-58.

- Le Bellego, L., J. van Milgen, and J. Noblet. 2002. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 691-701.
- Liu, H., G. L. Allee, J. J. Berkemeyer, K. J. Touchette, J. D. Spencer, and I. B. Kim. 1999. Effect of reducing protein level and adding amino acids on growth performance and carcass characteristics of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 77 (1): 69 (Abstr.).
- Liu, H., G. L. Allee, K. J. Touchette, J. W. Frank, and J. D. Spencer. 2000. Effect of reducing protein and adding amino acids on performance, carcass characteristics, and nitrogen excretion, and the valine requirement of early-finishing barrows. *J. Anim. Sci.* 78 (2): 69 (Abstr.).
- Martín, D., E. Muriel, E. González, J. Viguera, and J. Ruiz. 2008. Effect of dietary conjugated linoleic acid and monounsaturated fatty acids on productive, carcass and meat quality traits of pigs. *Livest. Sci.* 117: 155-164.
- Martínez-Aispuro, M., J. L. Figueroa-Velasco, J. E. Trujillo-Coutiño, V. Zamora-Zamora, J. L. Cordero-Mora, M. T. Sánchez-Torres, y L. Reyna-Santamaría. 2009. Respuesta productiva y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína. *Vet. Mex.* 40 (1): 27-38.
- Microsoft Excel. 2001. Microsoft Corporation. 1985-2001. Redmond, WA, USA.
- Migdal, W., P. Pasciak, D. Wojtysiak, T. Barowicz, M. Pieszka, and M. Pietras. 2004. The effect of dietary CLA supplementation on meat and eating quality, and the histochemical profile of the m. *longissimus dorsi* from stress susceptible fatteners slaughtered at heavier weights. *Meat Sci.* 66: 863-870.
- NPPC. 1991. Procedures to Evaluate Market Hogs (3rd Ed.). National Pork Producers Council. Des Moines, IA.
- NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine (10th Ed.). National Academy Press. Washington, D. C. 189 p.
- O'Quinn, P. R., J. L. Nelssen, R. D. Goodband, J. A. Unruh, J. C. Woodworth, J. S. Smith, and M. D. Tokach. 2000. Effects of modified tall oil versus a commercial source of conjugated linoleic acid and increasing levels of modified tall oil on

- growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 78: 2359-2368.
- Ostrowska, E., M. Muralitharan, R. F. Cross, D. E. Bauman, and F. R. Dunshea. 1999. Dietary conjugated linoleic acids increase lean tissue and decrease fat deposition in growing pigs. *J. Nutr.* 129: 2037-2042.
- Otto, E. R., M. Yokoyama, P. K. Ku, N. K. Ames, and N. L. Trottier. 2003. Nitrogen balance and ileal amino acid digestibility in growing pigs fed diets reduced in protein concentration. *J. Anim. Sci.* 81: 1743-1753.
- Pariza, M. W., Y. Park, and E. M. Cook. 2000. Mechanisms of action of conjugated linoleic acid: evidence and speculation. *P.S.E.B.M.* 223: 8-13.
- Park, Y. and M. W. Pariza. 2007. Mechanisms of body fat modulation by conjugated linoleic acid (CLA). *Food Res. Int.* 40: 311-323.
- Ramsay, T. G., C. M. Evock-Clover, N. C. Steele, and M. J. Azain. 2001. Dietary conjugated linoleic acid alters fatty acid composition of pig skeletal muscle and fat. *J. Anim. Sci.* 79: 2152-2161.
- Roche, H. M., E. Noone, A. Nugent, and M. J. Gibney. 2001. Conjugated linoleic acid: a novel therapeutic nutrient?. *Nutr. Res. Rev.* 14: 173-187.
- SAS. 2002. *The SAS System for Windows V9*. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Schinckel, A. P., J. M. Eggert, B. T. Richert, and A. L. Carroll. 2000. Effects of conjugated linoleic acid (CLA) supplementation on pig growth, pork quality and carcass composition in two genetic populations of gilts. *Swine Day*. Purdue University, West Lafayette, IN, USA. pp: 51-53.
- Schmid, A., M. Collomb, R. Sieber, and G. Bee. 2006. Conjugated linoleic acid in meat and meat products: A review. *Meat Sci.* 73: 29-41.
- Schoenherr, W. D. 1992. Ideal protein formulation of diets for growing-finishing pigs housed in a hot environment. *J. Anim. Sci.* 70 (1): 242 (Abstr.).
- Shriver, J. A., S. D. Carter, B. W. Senne, and L. A. Pettey. 1999. Effects of adding wheat midds to low crude protein amino acid supplemented diets on growth performance and carcass traits of finishing pigs. *Animal Science: Research Report*. Oklahoma State University, Stillwater, OK, USA. pp. 287-292

- Shriver, J. A., S. D. Carter, A. L. Sutton, B. T. Richert, B. W. Senne, and L. A. Pettey. 2003. Effects of adding fiber sources to reduced-crude protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen excretion, growth performance, and carcass traits of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 81 (2): 492-502.
- Steel, D. R. G., J. H. Torrie, and D. A. Dickey. 1997. *Principles and Procedures of Statistics: a Biometrical Approach*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, USA. 356 p.
- Su, T. M., C. F. Liu, S. F. Wu, and C. W. Liao. 2006. Effect of dietary conjugated linoleic acid on the growth, carcass characteristics and meat fatty acid composition for TLRI Black Pig No.1. Symposium COA/INRA Scientific Cooperation in Agriculture, Tainan (Taiwan, R.O.C.), November 7-10. pp 87-90.
- Sun, D., X. Zhu, S. Qiao, S. Fan, and D. Li. 2004. Effects of conjugated linoleic acid levels and feeding intervals on performance, carcass traits and fatty acid composition of finishing barrows. *Arch. Anim. Nutr.* 58 (4): 277-286.
- Sutton, A. L., K. B. Kephart, M. W. A. Verstegen, T. T. Canh, and P. J. Hobbs. 1999. Potential for reduction of odorous compounds in swine manure through diet modification. *J. Anim. Sci.* 77: 430-439.
- Thiel-Cooper, R. L., F. C. Parrish, Jr., J. C. Sparks, B. R. Wiegand, and R. C. Ewan. 2001. Conjugated linoleic acid changes swine performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 79: 1821-1828.
- Trujillo, J. E., J. L. Figueroa, M. Martínez, V. Zamora, J. L. Cordero, M. T. Sánchez-Torres, M. Cuca, y M. Cervantes. 2007. Concentración de urea en plasma y respuesta productiva de cerdos en iniciación alimentados con dietas sorgo-pasta de soya bajas en proteína. *Agrociencia* 41 (6): 597-607.
- Tuitoek, K., L. G. Young, C. F. M. de Lange, and B. J. Kerr. 1997a. The effect of reducing excess dietary amino acids on growing-finishing pig performance: an evaluation of the ideal protein concept. *J. Anim. Sci.* 75: 1575-1583.
- Tuitoek, K., L. G. Young, C. F. M. de Lange, and B. J. Kerr. 1997b. Body composition and protein and fat accretion in various body components in growing gilts fed diets with different protein levels but estimated to contain similar levels of ideal protein. *J. Anim. Sci.* 75: 1584-1590.

- Wiegand, B. R., F. C. Parrish, Jr., J. E. Swan, S. T. Larsen, and T. J. Baas. 2001. Conjugated linoleic acid improves feed efficiency, decreases subcutaneous fat, and improves certain aspects of meat quality in stress-genotype pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 2187-2195.
- Wiegand, B. R., J. C. Sparks, F. C. Parrish, Jr., and D. R. Zimmerman. 2002. Duration of feeding conjugated linoleic acid influences growth performance, carcass traits, and meat quality of finishing barrows. *J. Anim. Sci.* 80: 637-643.
- Zervas, S., and R. T. Zijlstra. 2002a. Effects of dietary protein and oathull fiber on nitrogen excretion patterns and postprandial plasma urea profiles in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 3238-3246.
- Zervas, S., and R. T. Zijlstra. 2002b. Effects of dietary protein and fermentable fiber on nitrogen excretion patterns and plasma urea in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 3247-3256.

Cuadro 1.1. Composición de las dietas experimentales de cerdos en iniciación

Ácido linoleico conjugado %	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	
Proteína cruda, %	20.5	20.5	16.0	16.0	14.5	14.5	
Ingrediente, %	T1	T2	T3	T4	T5	T6	NRC (1998)*
Sorgo	62.255	62.255	76.588	76.588	81.366	81.355	
Pasta de soya	33.346	33.346	18.335	18.335	13.329	13.332	
Aceite crudo de soya	1.591	0.591	1.141	0.141	0.991	0.000	
Bio-Lys (L-Lisina-H ₂ SO ₄)****	0.093	0.093	0.304	0.304	0.375	0.375	
DL-Metionina	0.017	0.017	0.140	0.140	0.181	0.181	
Tripto-Plus (L-Triptófano)***	0.022	0.022	0.465	0.465	0.613	0.613	
L-Treonina	0.000	0.000	0.183	0.183	0.245	0.245	
Vitaminas y minerales**	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	
Sal común	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	
Antioxidante (Etoxiquina)	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	
CaCO ₃	1.025	1.025	1.093	1.093	1.115	1.115	
Ácido linoleico conjugado	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	
Fosfato dicálcico	1.028	1.028	1.128	1.128	1.162	1.162	
Total	100	100	100	100	100	100	
Análisis calculado							
Energía metabolizable, Mcal kg ⁻¹	3.279	3.279	3.279	3.279	3.279	3.279	3.265
Proteína cruda, %	20.50	20.50	16.00	16.00	14.50	14.50	20.9
Calcio, %	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Fósforo disponible, %	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
Lisina, %	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Treonina, %	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.63
Triptófano, %	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.18
Metionina, %	0.30	0.30	0.36	0.36	0.38	0.38	0.27
Arginina, %	1.21	1.21	0.81	0.81	0.67	0.67	0.42
Histidina, %	0.47	0.47	0.34	0.34	0.29	0.29	0.32
Isoleucina, %	0.78	0.78	0.57	0.57	0.50	0.50	0.55
Leucina, %	1.68	1.68	1.39	1.39	1.29	1.29	1.02
Valina, %	0.84	0.84	0.64	0.64	0.57	0.57	0.69
Metionina + Cistina, %	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
Análisis determinado							
Proteína cruda, %	21.2	22.3	17.3	16.7	15.2	14.8	

* Sugerencia de nutrimentos para cerdos (10-20 kg) en base aminoácidos digestibles verdaderos (NRC, 1998).

** Cada kg de alimento aportó: vitamina A, 6250 UI; vitamina D, 1250 UI; vitamina E, 25 UI; vitamina K3, 2.5 mg; B1, 1.25 mg; B2, 6.25 g; B5, 31.25 mg; B6, 2.5 mg; B12, 0.01875 mg; ácido fólico, 3.75 mg; Vit. H, 0.225 mg; ácido pantoténico, 18.75 mg; colina, 381.25 mg; Fe, 125 mg; Zn, 125 mg; Mn, 125 mg; Cu, 12.5 mg; Se, 0.25 mg; I, 0.375 mg; Co, 0.125 mg.

*** Tripto Plus contiene: proteína cruda, 95 %; lisina, 55.3 %; treonina, 0.15 %; triptófano, 15 %; valina, 0.5 %; metionina+cistina, 1.75 %.

**** Bio Lys contiene: proteína cruda, 75 %; fósforo disponible, 0.16 %; lisina, 50.7 %; treonina, 0.4 %; triptófano, 0.14 %; metionina, 0.2 %; arginina, 0.6 %; isoleucina, 0.4 %; leucina, 0.7 %; valina, 0.7 %; cistina, 0.1 %.

***** Ácido linoleico conjugado (LutaCLA® 60 BASF Mexicana) contiene: 9c, 11t metil éster, 30 %; 10t, 12c metil éster, 30 %; otros isómeros, ≤1 %; ácido oleico, 22 %; ácido palmítico, 6 %; ácido esteárico, 4 %; ácido linoleico, 2 %; metanol, ≤100 ppm; metales pesados, ≤1 ppm.

Cuadro 1.2. Composición de las dietas experimentales de cerdos en crecimiento

Ácido linoleico conjugado, %	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	
Proteína cruda, %	16.0	16.0	14.5	14.5	11.5	11.5	
Ingrediente, %	T1	T2	T3	T4	T5	T6	NRC (1998)*
Sorgo	76.055	76.055	80.834	80.834	90.391	90.400	
Pasta de soya	19.708	19.708	14.702	14.702	4.690	4.688	
Aceite crudo de soya	1.457	0.457	1.307	0.307	1.007	0.000	
Bio-Lys (L-Lisina-H ₂ SO ₄)****	0.369	0.369	0.440	0.440	0.581	0.581	
DL-Metionina	0.022	0.022	0.063	0.063	0.145	0.145	
Tripto-Plus (L-Triptófano)***	0.020	0.020	0.168	0.168	0.464	0.464	
L-Treonina	0.031	0.031	0.093	0.093	0.217	0.217	
Vitaminas y minerales**	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	
Sal común	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	
Antioxidante	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	
CaCO ₃	1.027	1.027	1.050	1.050	1.095	1.095	
Ácido linoleico conjugado	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	
Fosfato dicálcico	0.687	0.687	0.721	0.721	0.788	0.788	
Total	100	100	100	100	100	100	
Análisis calculado							
Energía metabolizable, Mcal kg ⁻¹	3.308	3.308	3.308	3.308	3.308	3.308	3.265
Proteína cruda, %	16.00	16.00	14.50	14.50	11.50	11.50	18
Calcio, %	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Fósforo disponible, %	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Lisina, %	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
Treonina, %	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
Triptófano, %	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.15
Metionina, %	0.25	0.25	0.27	0.27	0.31	0.31	0.22
Arginina, %	0.85	0.85	0.71	0.71	0.44	0.44	0.33
Histidina, %	0.35	0.35	0.31	0.31	0.22	0.22	0.26
Isoleucina, %	0.59	0.59	0.52	0.52	0.38	0.38	0.45
Leucina, %	1.42	1.42	1.33	1.33	1.13	1.13	0.83
Valina, %	0.66	0.66	0.59	0.59	0.45	0.45	0.56
Metionina + Cistina, %	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
Análisis determinado							
Proteína cruda, %	16.6	17.6	15.5	14.1	12.0	12.3	

*Sugerencia de nutrimentos para cerdos (20-50kg) en base aminoácidos digestibles verdaderos (NRC, 1998).

** Cada kg de alimento aportó: vitamina A, 6250 UI; vitamina D, 1250 UI; vitamina E, 25 UI; vitamina K3, 2.5 mg; B1, 1.25 mg; B2, 6.25 g; B5, 31.25 mg; B6, 2.5 mg; B12, 0.01875 mg; ácido fólico, 3.75 mg; Vit. H, 0.225 mg; ácido pantoténico, 18.75 mg; colina, 381.25 mg; Fe, 125 mg; Zn, 125 mg; Mn, 125 mg; Cu, 12.5 mg; Se, 0.25 mg; I, 0.375 mg; Co, 0.125 mg.

*** Tripto Plus contiene: proteína cruda, 95 %; lisina, 55.3 %; treonina, 0.15 %; triptófano, 15 %; valina, 0.5 %; metionina+cistina, 1.75 %.

**** Bio Lys contiene: proteína cruda, 75 %; fósforo disponible, 0.16 %; lisina, 50.7 %; treonina, 0.4 %; triptofano, 0.14 %; metionina, 0.2 %; arginina, 0.6 %; isoleucina, 0.4 %; leucina, 0.7 %; valina, 0.7 %; cistina, 0.1 %.

***** Ácido linoleico conjugado (LutaCLA® 60 BASF Mexicana) contiene: 9c, 11t metil éster, 30 %; 10t, 12c metil éster, 30 %; otros isómeros, ≤1 %; ácido oleico, 22 %; ácido palmítico, 6 %; ácido esteárico, 4 %; ácido linoleico, 2 %; metanol, ≤100 ppm; metales pesados, ≤1 ppm.

Cuadro 1.3. Composición de las dietas experimentales de cerdos en finalización

Ácido linoleico conjugado, %	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	
Proteína cruda, %	14.00	14.00	12.50	12.50	11.00	11.00	
Ingrediente, %	T1	T2	T3	T4	T5	T6	NRC (1998)*
Sorgo	82.255	82.255	87.027	87.027	91.806	91.806	
Pasta de soya	14.072	14.072	9.075	9.075	4.069	4.069	
Aceite crudo de soya	1.316	0.316	1.163	0.163	1.013	0.013	
Bio-Lys (L-Lisina-H ₂ SO ₄)****	0.314	0.314	0.403	0.403	0.473	0.473	
DL-Metionina	0.000	0.000	0.040	0.040	0.081	0.081	
Tripto-Plus (L-Triptófano)***	0.000	0.000	0.131	0.131	0.279	0.279	
L-Treonina	0.008	0.008	0.070	0.070	0.131	0.131	
Vitaminas y minerales**	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	
Sal común	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	
Antioxidante	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	
CaCO ₃	0.880	0.880	0.902	0.902	0.925	0.925	
Ácido linoleico conjugado	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	
Fosfato dicálcico	0.533	0.533	0.567	0.567	0.600	0.600	
Total	100	100	100	100	100	100	
Análisis calculado							
Energía metabolizable, Mcal kg ⁻¹	3.319	3.319	3.319	3.319	3.319	3.319	3.265
Proteína cruda, %	14.00	14.00	12.50	12.50	11.00	11.00	15.5
Calcio, %	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.5
Fósforo disponible, %	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Lisina, %	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
Treonina, %	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
Triptófano, %	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.12
Metionina, %	0.20	0.20	0.22	0.22	0.24	0.24	0.18
Arginina, %	0.70	0.70	0.56	0.56	0.43	0.43	0.24
Histidina, %	0.30	0.30	0.26	0.26	0.21	0.21	0.21
Isoleucina, %	0.51	0.51	0.44	0.44	0.37	0.37	0.37
Leucina, %	1.32	1.32	1.22	1.22	1.13	1.13	0.67
Valina, %	0.58	0.58	0.51	0.51	0.44	0.44	0.45
Metionina + Cistina, %	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.39
Análisis determinado							
Proteína cruda, %	13.5	13.7	11.9	12.7	11.3	10.7	

* Sugerencia de nutrimentos para cerdos (50-80 kg) en base aminoácidos digestibles verdaderos (NRC, 1998).

** Cada kg de alimento aportó: vitamina A, 6250 UI; vitamina D, 1250 UI; vitamina E, 25 UI; vitamina K3, 2.5 mg; B1, 1.25 mg; B2, 6.25 g; B5, 31.25 mg; B6, 2.5 mg; B12, 0.01875 mg; ácido fólico, 3.75 mg; Vit. H, 0.225 mg; ácido pantoténico, 18.75 mg; colina, 381.25 mg; Fe, 125 mg; Zn, 125 mg; Mn, 125 mg; Cu, 12.5 mg; Se, 0.25 mg; I, 0.375 mg; Co, 0.125 mg.

*** Tripto Plus contiene: proteína cruda, 95 %; lisina, 55.3 %; treonina, 0.15 %; triptófano, 15 %; valina, 0.5 %; metionina+cistina, 1.75 %.

**** Bio Lys contiene: proteína cruda, 75 %; fósforo disponible, 0.16 %; lisina, 50.7 %; treonina, 0.4 %; triptófano, 0.14 %; metionina, 0.2 %; arginina, 0.6 %; isoleucina, 0.4 %; leucina, 0.7 %; valina, 0.7 %; cistina, 0.1 %.

***** Ácido linoleico conjugado (LutaCLA® 60 BASF Mexicana) contiene: 9c, 11t metil éster, 30 %; 10t, 12c metil éster, 30 %; otros isómeros, ≤1 %; ácido oleico, 22 %; ácido palmítico, 6 %; ácido esteárico, 4 %; ácido linoleico, 2 %; metanol, ≤100 ppm; metales pesados, ≤1 ppm.

Cuadro 1.4. Efecto de la concentración de proteína cruda y ácido linoleico conjugado en dietas para cerdos en iniciación

Comportamiento productivo								Características de la canal				
TRA	PC	ALC	PI kg	PF kg	GDP g d ⁻¹	CAL g d ⁻¹	CA	GCM g d ⁻¹	GDF mm	AMLF mm ²	% CMF	CUP mg 100mL
1	20.5	0	17.3	33.3	757	1.53	2.03	309	3.50	1375	44.4	6.19
2	20.5	1	17.4	32.8	732	1.50	2.05	289	3.33	1337	44.4	5.01
3	16.0	0	17.2	33.0	745	1.58	2.13	307	4.01	1441	44.7	4.12
4	16.0	1	17.7	33.8	783	1.63	2.09	300	3.62	1384	44.2	5.35
5	14.5	0	17.4	31.0	649	1.41	2.17	269	2.99	1261	44.9	4.44
6	14.5	1	17.2	30.3	617	1.31	2.13	251	3.02	1224	44.8	4.19
EEM				0.242	0.011	0.027	0.028	0.001	0.079	19.18	0.222	0.325
Efectos principales												
	20.5		17.3	33.0a	745 ^a	1.52ab	2.04	299a	3.41ab	1356ab	44.4	5.60
	16.0		17.4	33.4a	764 ^a	1.60a	2.11	303a	3.82a	1413a	44.5	4.73
	14.5		17.3	30.7b	633b	1.37b	2.15	260b	3.01b	1243b	44.9	4.30
		0	17.3	32.5	717	1.51	2.10	295	3.50	1359	44.7	4.94
		1	17.4	32.3	710	1.48	2.09	280	3.32	1315	44.5	4.85
Fuente de variación			Valor de P									
PC				0.001	0.001	0.004	0.285	0.002	0.001	0.004	0.714	0.278
ALC				0.783	0.784	0.658	0.776	0.146	0.273	0.261	0.639	0.923
PC × ALC				0.404	0.402	0.534	0.861	0.859	0.575	0.969	0.883	0.316
PI				0.001	0.001	0.005		0.018	0.006	0.001	0.005	

^{a, b} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal por columna son diferentes ($P \leq 0.05$).

* TRA = tratamiento; PC = proteína cruda; ALC = ácido linoleico conjugado; EEM = error estándar de la media; PI = peso inicial; PF = peso final; GDP = ganancia diaria de peso; CAL = consumo de alimento; CA = conversión alimenticia; GCM = ganancia de carne magra; GDF = grasa dorsal final; AMLF = área del músculo *longissimus* final; % CMF = porcentaje de carne magra final; CUP = concentración de urea en plasma.

** Medias de tratamiento ajustadas usando peso inicial como covariable ($P \leq 0.05$).

Cuadro 1.5. Efecto de la concentración de proteína cruda y ácido linoleico conjugado en dietas para cerdos en crecimiento

			Comportamiento productivo					Características de la canal				
TRA	PC	ALC	PI kg	PF Kg	GDP g d ⁻¹	CAL g d ⁻¹	CA	GCM g d ⁻¹	GDF mm	AMLF mm ²	% CMF	CUP mg 100mL
1	16.0	0	33.3	55.5	823	2.20	2.67	324	6.23	2372	42.5	17.03
2	16.0	1	32.8	54.6	789	2.23	2.86	301	6.35	2220	41.9	16.50
3	14.5	0	32.8	54.2	775	2.21	2.88	308	5.95	2343	42.8	16.18
4	14.5	1	35.1	53.6	754	2.12	2.77	296	6.47	2396	42.7	14.38
5	11.5	0	31.0	50.7	653	1.89	2.97	234	5.97	1891	41.4	10.68
6	11.5	1	30.1	51.5	679	1.92	2.93	251	5.63	1878	41.5	9.81
EEM				0.386	0.013	0.040	0.056	0.001	0.132	50.40	0.244	0.327
Efectos principales												
	16.0		33.1	55.0a	806a	2.22a	2.75	313a	6.29	2303a	42.2	16.79a
	14.5		33.8	53.9a	764a	2.17ab	2.83	302a	6.21	2367a	42.8	15.36a
	11.5		30.5	51.1b	666b	1.90b	2.95	242b	5.80	1884b	41.4	10.20b
		0	32.4	53.5	750	2.10	2.83	289	6.05	2220	42.2	14.86
		1	32.5	53.2	741	2.09	2.85	283	6.15	2147	42.0	13.33
Fuente de variación			Valor de P									
PC				0.002	0.002	0.017	0.418	0.002	0.348	0.001	0.145	0.001
ALC				0.738	0.734	0.893	0.927	0.690	0.721	0.717	0.693	0.115
PC × ALC				0.657	0.659	0.771	0.543	0.538	0.445	0.703	0.837	0.716
PI				0.001	0.001	0.002		0.006	0.010		0.002	

^{a, b} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal por columna son diferentes ($P \leq 0.05$).

* TRA = tratamiento; PC = proteína cruda; ALC = ácido linoleico conjugado; EEM = error estándar de la media; PI = peso inicial; PF = peso final; GDP = ganancia diaria de peso; CAL = consumo de alimento; CA = conversión alimenticia; GCM = ganancia de carne magra; GDF = grasa dorsal final; AMLF = área del músculo *longissimus* final; % CMF = porcentaje de carne magra final; CUP = concentración de urea en plasma.

** Medias de tratamiento ajustadas usando peso inicial como covariable ($P \leq 0.05$)

Cuadro 1.6. Efecto de la concentración de proteína cruda y ácido linoleico conjugado en dietas para cerdos en finalización

Comportamiento productivo								Características de la canal				
TRA	PC	ALC	PI kg	PF kg	GDP g d ⁻¹	CAL g d ⁻¹	CA	GCM g d ⁻¹	GDF mm	AMLF mm ²	% CMF	CUP mg 100mL
1	14.0	0	56.8	84.1	885	2.80	3.17	293	10.85	3117	39.3	19.72
2	14.0	1	53.9	86.3	948	3.08	3.26	326	10.61	3015	38.9	19.20
3	12.5	0	56.1	84.5	896	2.94	3.29	284	10.47	3024	39.0	18.38
4	12.5	1	56.0	83.9	879	2.70	3.09	299	9.99	3114	39.6	15.35
5	11.0	0	48.3	81.7	817	2.55	3.11	287	10.03	2849	38.9	15.02
6	11.0	1	47.5	82.1	827	2.70	3.29	272	9.98	2691	38.2	14.36
EEM				0.623	0.017	0.054	0.041	0.001	0.211	48.01	0.186	0.682
Efectos principales												
	14.0		55.7	85.2	917	2.94	3.21	310	10.73	3066	39.1	19.51a
	12.5		56.1	84.2	887	2.82	3.18	292	10.23	3069	39.3	16.73ab
	11.0		47.9	81.9	822	2.63	3.21	279	10.00	2770	38.6	14.68a
		0	53.9	83.4	866	2.76	3.19	288	10.45	2996	39.1	17.83
		1	52.3	84.1	885	2.83	3.21	299	10.19	2940	38.9	15.94
Fuente de variación			Valor de P									
PC			0.194	0.195	0.156	0.964	0.315	0.447	0.072	0.336	0.033	
ALC			0.607	0.609	0.563	0.768	0.441	0.555	0.567	0.578	0.318	
PC × ALC			0.664	0.664	0.153	0.163	0.410	0.913	0.543	0.343	0.705	
PI			0.001	0.011	0.005		0.011	0.001	0.001	0.024		

^{a, b} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal por columna son diferentes ($P \leq 0.05$).

* TRA = tratamiento; PC = proteína cruda; ALC = ácido linoleico conjugado; EEM = error estándar de la media; PI = peso inicial; PF = peso final; GDP = ganancia diaria de peso; CAL = consumo de alimento; CA = conversión alimenticia; GCM = ganancia de carne magra; GDF = grasa dorsal final; AMLF = área del músculo *longissimus* final; % CMF = porcentaje de carne magra final; CUP = concentración de urea en plasma.

** Medias de tratamiento ajustadas usando peso inicial como covariable ($P \leq 0.05$)

Cuadro 1.7. Efecto de la concentración de proteína cruda y ácido linoleico conjugado en dietas para cerdos de 17.3 a 83.5 kg

			Comportamiento productivo					Características de la canal				
TRA	PC	ALC	PI kg	PF kg	GDP g d ⁻¹	CAL g d ⁻¹	CA	GCM g d ⁻¹	GDF mm	AMLF mm ²	% CMF	CUP mg 100mL
1	DT	0	17.4	88.8	851	2.34	2.75	315	11.50	3252	39.0	19.7
2	DT	1	16.8	85.6	812	2.38	2.95	294	10.20	2951	39.1	17.8
3	DBP1	0	17.3	88.6	849	2.40	2.83	310	11.00	3134	38.8	18.4
4	DBP1	1	17.9	88.4	846	2.32	2.75	314	11.00	3365	39.5	15.7
5	DBP2	0	17.4	75.3	690	1.96	2.84	254	9.20	2674	39.3	15.0
6	DBP2	1	17.2	75.0	687	1.99	2.92	246	9.00	2483	38.6	14.4
EEM				1.216	0.014	0.044	0.031	0.001	0.275	56.65	0.203	0.713
Efectos Principales												
	DT		17.1	87.2a	832a	2.36a	2.84	304a	10.90a	3115a	39.0	18.8
	DBP1		17.6	88.5a	847a	2.36a	2.79	312a	11.00a	3249a	39.1	17.0
	DBP2		17.3	75.1b	688b	1.97b	2.87	250b	9.09b	2570b	38.9	14.6
		0	17.4	84.2	797	2.23	2.80	293	10.62	3035	39.1	17.8
		1	17.3	83.0	782	2.23	2.87	285	10.00	2905	39.0	15.8
Fuente de variación			Valor de P									
PC			0.001	0.001	0.001	0.555	0.001	0.015	0.001	0.941	0.079	
ALC			0.612	0.611	0.959	0.317	0.412	0.374	0.449	0.974	0.230	
PC × ALC			0.838	0.840	0.820	0.194	0.639	0.589	0.158	0.419	0.842	
PI			0.001	0.016	0.028		0.029					

^{a, b} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal por columna son diferentes ($P \leq 0.05$).

* TRA = tratamiento; PC = proteína cruda; DT = dieta testigo; DBP1 = dieta baja en proteína 1; DBP2 = dieta baja en proteína 2; ALC = ácido linoleico conjugado; EEM = error estándar de la media; PI = peso inicial; PF = peso final; GDP = ganancia diaria de peso; CAL = consumo de alimento; CA = conversión alimenticia; GCM = ganancia de carne magra; GDF = grasa dorsal final; AMLF = área del músculo *longissimus* final; % CMF = porcentaje de carne magra final; CUP = concentración de urea en plasma.

** Medias de tratamiento ajustadas usando peso inicial como covariable ($P \leq 0.05$)

CAPITULO II.
CERDOS ALIMENTADOS CON DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA ADICIONADAS CON
ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO O ACEITE DE SOYA ACIDULADO

CERDOS ALIMENTADOS CON DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA ADICIONADAS CON ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO O ACEITE DE SOYA ACIDULADO

RESUMEN

Dietas bajas en proteína adicionadas con aminoácidos sintéticos mantienen la respuesta productiva en cerdos, pero engrasan la canal. El ácido linoleico conjugado tiene propiedades biológicas que podrían reducir este engrasamiento; además, el alto costo de los aceites como fuente de energía en las dietas para cerdos obliga a buscar fuentes energéticas alternativas. Se evaluó el aceite crudo de soya (ACS), ácido linoleico conjugado (ALC) y el aceite de soya acidulado (ASA) como fuentes de energía en dietas bajas en proteína (iniciación: 20.5 y 16 %; crecimiento: 16 y 14.5 %; finalización: 14 y 12.5%). Se utilizaron 36 machos castrados (Yorkshire×Landrace) de 18.6-93.3 kg, alojados individualmente, asignados en un diseño completamente al azar con arreglo factorial (3×2) de tratamientos. Las dietas, basadas en sorgo-pasta de soya, fueron formuladas para aminoácidos digestibles verdaderos y se proporcionaron *ad libitum*; las variables analizadas fueron el comportamiento productivo y las características de la canal, durante 78 d. En la etapa de iniciación, la reducción de PC afectó la ganancia de peso, conversión alimenticia (CA) y área del músculo *longissimus* (AML; $P \leq 0.05$); el AML fue mayor para ASA y menor para ACS ($P \leq 0.05$). En crecimiento, el AML disminuyó al reducir la PC ($P = 0.06$); la concentración de urea en plasma (CUP) disminuyó 14 % al reducirse la proteína. En finalización, el consumo de alimento aumentó al bajar la PC ($P \leq 0.05$), la ganancia de carne magra (GCM) fue menor para ALC ($P \leq 0.05$), el porcentaje de carne magra (CM) bajó ($P = 0.051$) y la CUP disminuyó al disminuir la PC ($P \leq 0.05$). En el periodo crecimiento-finalización el porcentaje de CM disminuyó en 0.8 % al reducir la PC ($P \leq 0.05$), la CUP bajó 14.4 % al reducir la PC. La reducción en la proteína dietaria no alteró el comportamiento productivo, características de la canal y reduce la CUP. El ASA puede sustituir el ACS en dietas para cerdos; el ALC no mejoró la respuesta en dietas estándar o con bajo contenido de proteína.

Palabras clave: cerdos, dieta baja en proteína, aceite de soya acidulado, ácido linoleico conjugado.

BARROWS FED LOW-PROTEIN DIETS SUPPLEMENTED WITH CONJUGATED LINOLEIC ACID OR ACIDULATED SOYBEAN OIL SOAPSTOCK

ABSTRACT

Low protein diets added with synthetic amino acids maintain the response in pigs as in standard diet, but produce higher adiposity in carcass. Conjugated linoleic acid has biological properties which could reduce fat deposition in the pig; in addition, the high cost of oil as an energy source in diets for pigs forces to seek alternative energy sources. So, it was evaluated the crude soybean oil (CSO), conjugated linoleic acid (CLA) and acidulated soybean oil (ASO) as energy sources in low protein diets (nursery: 20.5 and 16 %; growing: 16 and 14.5 %; finishing: 14 and 12.5 %). Thirty six barrows (Yorkshire×Landrace) of 18.6-93.3 kg, individually housed, were assigned in a completely randomized design with a factorial arrangement (3×2) of treatments. The diets, based on sorghum-soybean meal, were formulated for true digestible amino acids and provided *ad libitum*. The analyzed variables were: growth performance and carcass characteristics, for 78 d. In the nursery phase, the reduction of crude protein (CP) affected the average daily gain (ADG), feed: gain ratio (FGC), and *longissimus* muscle area (LMA) ($P\leq 0.05$); the LMA was higher for ASO and less for CSO ($P\leq 0.05$). In growing pigs, LMA decreased by reducing the CP ($P=0.06$); plasma urea nitrogen concentration (PUN) decreased 14 % when dietary protein was reduced. In finishing phase, the reduction of CP increased ADG ($P\leq 0.05$); the fat free lean gain (FFLG) was lower in pigs fed CLA ($P\leq 0.05$); the percentage of lean meat (PLM) declined ($P=0.051$) when CP was reduced; and PUN decreased in pigs fed low-protein diets ($P\leq 0.05$). In the growing-finishing period the PLM decreased by 0.8% when CP was reduced ($P\leq 0.05$); the PUN decreased 14.4 % in pigs fed low-protein diets. The reduction in dietary protein does not affect the growth performance, carcass characteristics and reduces the PUN. The ASO can replace the CSO in diets for pigs; the CLA did not improve the response in pigs fed standard- or low-protein diets.

Keywords: pigs, low protein diets, soybean oil acidified, conjugated linoleic acid

INTRODUCCIÓN

La adecuada adición de aminoácidos sintéticos en dietas sorgo-pasta de soya, formuladas con un menor contenido de proteína al recomendado por el NRC (1998), no influye negativamente en el comportamiento productivo de los cerdos (Myer y Gorbet, 2002; Figueroa *et al.*, 2003) y disminuye la excreción de nitrógeno producto del catabolismo del exceso de aminoácidos que se encuentran en la dieta estándar (Kerr y Easter, 1995; Kerr *et al.*, 2003a). El uso de estas dietas tiene efectos negativos en las características de la canal porque hay una menor ganancia de carne magra y una mayor acumulación de tejido adiposo (Knowles *et al.*, 1998; Gómez *et al.*, 2002b; Figueroa *et al.*, 2002). La adición de ácido linoleico conjugado (ALC) en dietas para cerdos puede ser una alternativa para disminuir el efecto negativo del uso de las dietas bajas en proteína (DBP), porque tiene un efecto lipolítico en el tejido adiposo (Dugan *et al.*, 1999; Mersmann, 2002). La inclusión de 0.12 % de isómeros de ALC en la dieta, puede reducir la síntesis de tejido graso (Thiel-Cooper *et al.*, 2001), evitando el uso de grandes cantidades de aceite que sobrepasen las necesidades energéticas de los cerdos, lo cual conduciría a un incremento en la deposición de grasa (Herr *et al.*, 2000).

El alto costo de las fuentes proteicas y energéticas utilizadas en la alimentación animal hace necesario el uso de ingredientes alternativos. En el proceso de extracción del aceite de soya se obtienen subproductos como el aceite de soya acidulado (ASA), el cual si se recupera, procesa y maneja adecuadamente, puede ser usado en la alimentación animal (Bruce *et al.*, 2006; Dumont y Narine, 2007). El ASA es una fuente energética económicamente atractiva para ser utilizada en la alimentación de cerdos, pues su costo puede ser la mitad del costo del aceite crudo de soya (ACS). Sin embargo, debido a su alto contenido de ácidos grasos libres, presenta una baja tasa de absorción intestinal por la inadecuada formación de micelas, afectando su digestibilidad y valor energético (Mateos *et al.*, 1996). Por lo anterior, es importante evaluar su uso en DBP en las cuales la deficiencia marginal de cualquier nutrimento puede causar un menor desempeño productivo. El objetivo de esta investigación fue evaluar el uso del ALC y ASA como fuentes de energía en sustitución del ACS y su efecto en el comportamiento productivo y características de la canal de cerdos en engorda alimentados con dietas bajas en proteína.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cerdos y diseño experimental

El experimento se efectuó en la Unidad Porcina del Colegio de Postgraduados, en Tecámac, Estado de México, usando 36 cerdos machos castrados (Yorkshire×Landrace) con 18.6 ± 2.3 kg de peso inicial. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 2×3 de tratamientos, con seis repeticiones cada uno, para evaluar dos concentraciones de proteína y tres tipos de aceite (aceite crudo de soya, ácido linoleico conjugado y aceite de soya acidulado), como fuentes de energía en las etapas de iniciación, crecimiento y finalización. Los modelos estadísticos del diseño fueron (Steel *et al.*, 1997): $Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$ ó $Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \beta(PI) + \epsilon_{ijk}$ (cuando se usó el peso inicial como covariable); donde: Y_{ij} = variable de respuesta medida en la k-ésima repetición de la combinación a la concentración j de B con la concentración i de A ; μ = media general; A_i = efecto del factor A (proteína) a la concentración i; B_j = efecto del factor B (tipo de aceite) a la concentración j; $(AB)_{ij}$ = efecto de la interacción de la concentración i de A con la concentración j de B; β = coeficiente de la covariable (PI = peso inicial); y ϵ_{ijk} = error experimental asociado con cada medición, se asumió $\epsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma_e^2)$. El experimento duró 78 d: 21 d en iniciación, 28 d en crecimiento y 29 d en finalización.

Dietas

La base de las dietas fue sorgo-pasta de soya (Cuadros 2.2, 2.3 y 2.4) formuladas con base en aminoácidos digestibles verdaderos para satisfacer o exceder el requerimiento nutricional correspondiente a cada etapa (NRC, 1998); para formular las dietas se utilizó la función *Solver* de Microsoft Excel (2001). Las concentraciones de baja proteína evaluadas corresponden a las obtenidas por Trujillo *et al.* (2007), Martínez-Aispuro *et al.* (2009) y Figueroa *et al.* (2008), donde el comportamiento productivo en las etapas de iniciación, crecimiento y finalización, respectivamente, no fue afectado.

Para calcular la energía metabolizable (EM) del aceite de soya acidulado, primero se calculó su energía digestible (ED), usando la ecuación propuesta por

(Powles *et al.*, 1995): $ED \text{ (Kcal kg}^{-1}\text{)} = (36.898 - (0.005 \times AGL) - (7.330 \times 2 \times e^{-0.906 \times I:S})) / 4.184$; donde: AGL es la cantidad de ácidos grasos libres (g kg^{-1}), I:S es la proporción entre ácidos grasos insaturados y ácidos grasos saturados. Para determinar la EM, el valor de ED obtenido con la ecuación anterior fue sustituido en esta ecuación (NRC, 1998): $EM = ED \times (94-97 \%)$. Así se calculó que el aceite de soya acidulado tiene $7.73 \text{ Mcal kg}^{-1}$ de EM. El análisis químico del aceite de soya acidulado se presenta en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Análisis químico del aceite de soya acidulado

Componente	Contenido
Ácidos grasos totales, %	96.56
Ácidos grasos libres (expresado como ácido oleico), %	46.54
TITER, °C	22.6
Humedad, %	0.49
Peróxido, mg kg^{-1}	1.43
Ph	6.0
Material insaponificable, %	0.35
Impurezas, %	0.37
Índice de iodo, $\text{cg I}_2 \text{ g}^{-1}$	131.98

Fuente: Narciso (2002).

El porcentaje de inclusión de los aceites en las dietas se realizó con base a su contenido energético, de forma que el contenido de EM en todas las dietas experimentales fuera $3.265 \text{ Mcal kg}^{-1}$ (NRC, 1998).

Los cerdos se alojaron en corrales individuales de $1.2 \times 1.5 \text{ m}$, con piso de concreto, equipados con comedero tipo tolva y bebedero tipo chupón. El alimento y el agua se proporcionaron *ad libitum*. La limpieza de corrales, inspección del estado de salud y bienestar de los cerdos se realizó diariamente durante el experimento.

Toma de datos y análisis de laboratorio

El cambio de peso de los cerdos para calcular la ganancia diaria de peso (GDP), así como el consumo de alimento (CAL) y la conversión alimenticia (CA), se obtuvieron semanalmente, y para el análisis estadístico se utilizó el promedio de las variables evaluadas en cada etapa. Al final de la etapa de crecimiento y finalización, se tomaron

muestras de sangre mediante punción en la vena cava utilizando tubos Vacutainer con heparina (BD Vacutainer Systems, NJ, USA.); la sangre fue centrifugada 15 min a 2500 rpm (1286 g); el sobrenadante se transfirió a tubos de polipropileno y guardó a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que se determinó la concentración de urea en plasma (CUP; Chaney y Marbach, 1962) en un HPLC Varian (Varian, Inc., Walnut Creek, CA, USA). Al inicio y final de la etapa de crecimiento y finalización se midió la grasa dorsal (GD) y el área del músculo *longissimus* (AML), utilizando un ultrasonido de tiempo real Sonovet 600 y un transductor convexo (Medison, Inc., Cypress, California, USA). Con estos datos y los de los pesos inicial y final, se calculó la ganancia de carne magra (GCM) con la ecuación de NPPC (1991), y el porcentaje de carne magra (CM) con parte de la misma ecuación. En las muestras de alimento ofrecido se determinó proteína cruda (AOAC, 1990).

Análisis estadístico

Los datos de las variables evaluadas fueron analizados utilizando el PROC GLM (SAS, 2002). El modelo incluyó los efectos del porcentaje de proteína y tipo de aceite, así como su interacción; el peso inicial de los cerdos fue utilizado como covariable en el modelo en las variables que lo requirieron. La comparación de medias fue realizada con la prueba de Tukey o LSMEANS ($P\leq 0.05$).

RESULTADOS

Iniciación

Los resultados de la etapa de iniciación se presentan en el cuadro 2.5. El contenido de proteína influyó ($P\leq 0.05$) en la ganancia diaria de peso (GDP) y el peso final (PF), los cuales fueron mejores para los cerdos que consumieron las dietas con 20.5 y 16 % de proteína. El CAL no fue afectado por los factores principales ($P> 0.05$); sin embargo, la interacción entre el contenido de proteína y el tipo de aceite fue diferente ($P\leq 0.05$) para los tratamientos con 20.5 % de PC que contenían ACS o ALC. La CA fue 8.5 % mayor en los cerdos que consumieron la dieta con menor contenido (16 %) de PC ($P\leq 0.05$).

La interacción de los factores afectó la GDF ($P \leq 0.05$), observándose un mayor engrasamiento en los cerdos que consumieron la dieta con 20.5 % PC y ALC, aunque esta diferencia no fue mayor de 1.5 mm. El AMLF fue afectado por el contenido de proteína y por el tipo de aceite en la dieta ($P \leq 0.05$), ya que fue mayor en los cerdos que consumieron las dietas con 20 % PC (1424 vs 1297 mm²). Los cerdos que consumieron las dietas con ASA registraron las mayores ($P \leq 0.05$) AMLF, seguidos por los que consumieron ALC, y por último los cerdos que consumieron las dietas con ACS.

Crecimiento

Las variables del comportamiento productivo y las características de la canal (Cuadro 2.6) no fueron afectadas ($P > 0.05$) por la concentración de proteína o tipo de aceite adicionado a la dieta. Sin embargo, se observó una tendencia ($P = 0.06$) a disminuir el AMLF al reducir el contenido de proteína en la dieta. La concentración de urea en plasma (CUP) disminuyó 14 % en los cerdos que consumieron las dietas con 14.5 % de PC, lo cual indica que hubo una disminución en el exceso o desequilibrio de aminoácidos en la dieta.

Finalización

Como se observa en el cuadro 2.7, las variables PF, GDP y CA no fueron diferentes ($P > 0.05$) entre tratamientos. El CAL aumentó 290 g d⁻¹ ($P \leq 0.05$) al bajar la proteína en 1.5 unidades porcentuales. La GCM fue mejor (404 g d⁻¹; $P \leq 0.05$) con el tratamiento de ACS y la menor respuesta (334 g d⁻¹) con las dietas con ALC. La GDF y AMLF no fueron diferentes ($P > 0.05$) entre tratamientos. El porcentaje de CMF fue mayor ($P = 0.051$) en la dieta testigo (14 %). La CUP disminuyó 14.2 %, cuando la PC en la dieta se redujo 1.5 unidades porcentuales; la interacción PC×Aceite mostró tendencia ($P = 0.059$) a ser afectada la CUP por el tratamiento, presentando menor concentración en cerdos alimentados con el ACS.

Periodo crecimiento-finalización

Al analizar las etapas de crecimiento y finalización en conjunto (Cuadro 2.8) no se observaron diferencias ($P > 0.05$) en el comportamiento productivo por la reducción en la

PC o por el tipo de aceite adicionado en la dieta. La GCM tiende ($P=0.092$) a disminuir en los cerdos que consumieron las dietas con ASA o ALC. La GDF y AMLF no cambiaron por los factores evaluados ($P>0.05$). El porcentaje de CMF fue menor ($P\leq 0.05$) al disminuir la proteína de la dieta y la CUP disminuyó ($P\leq 0.05$) 14.4 % con la DBP.

DISCUSIÓN

Comportamiento productivo

La disminución en la respuesta productiva en la etapa de iniciación de los cerdos que consumieron las dietas con baja proteína (16.5 %) difiere a lo encontrado por Hansen *et al.* (1993a), quienes reportan que el comportamiento productivo de cerdos de 5 a 20 kg alimentados con dietas sorgo-pasta de soya con 17 % de PC es similar al de los cerdos alimentados con dietas con 21 % de PC; también difiere de lo encontrado con el uso de dietas maíz-pasta de soya, en donde se ha podido reducir la proteína de la dieta hasta 15 % sin afectar la respuesta productiva (Kerr *et al.*, 1995). En esta etapa de iniciación es posible reducir hasta 5.5 unidades porcentuales la concentración de proteína de la dieta sin afectar la respuesta productiva, pero es necesario adicionar aminoácidos sintéticos (Le Bellego y Noblet, 2002).

En crecimiento, el comportamiento productivo de los cerdos que consumieron las dietas con 14.5 % de PC no fue afectado, lo cual concuerda con Hansen *et al.* (1993b), quienes encontraron que en dietas sorgo-pasta de soya, 14 % es el mínimo de proteína que deben tener las dietas para no afectar la respuesta productiva de cerdos en crecimiento. En el caso de dietas con base maíz-pasta de soya, la respuesta productiva puede ser mantenida con 14 % (Tartrakoon *et al.*, 2004), 13 % (Tuitoek *et al.*, 1997a), e incluso 12 % de PC (Kerr *et al.*, 1995; Figueroa *et al.*, 2002; Kerr *et al.*, 2003a,b). Sin embargo, hay evidencia de que al reducir la proteína de la dieta a 12.2 %, la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia (EA) disminuyen (Kendall *et al.*, 1998); este efecto puede corregirse con la adición de valina e isoleucina a la dieta (Le Bellego *et al.*, 2001; Zervas y Zijlstra, 2002). La variabilidad de resultados puede deberse a varios factores: 1) el potencial genético de los cerdos, debido a que entre investigaciones las razas o

cruzas utilizadas son distintas; 2) la base de las dietas (maíz, sorgo o trigo-pasta de soya), ya que la cantidad y tipo de carbohidratos consumidos por los cerdos influye en la respuesta productiva (Atakora *et al.*, 2003); 3) variabilidad en el peso inicial de los cerdos utilizados; y 4) duración del periodo de evaluación de las dietas.

En la etapa de finalización, reducir la proteína de la dieta aumentó el consumo de alimento, pero no influyó en la GDP y la CA, lo cual se ha reportado en dietas maíz-pasta de soya al disminuir la proteína en tres unidades porcentuales, que no se afecta la respuesta productiva (Knowles *et al.*, 1998; Kerr *et al.*, 2003b). También, la respuesta productiva no es afectada al alimentar a cerdos con dietas maíz-pasta de soya con 11 % de PC adicionadas con aminoácidos sintéticos (Kerr *et al.*, 1995). Sin embargo, con una reducción similar en la PC de la dieta, la GDP y la EA se ha afectado negativamente (Tuitoek *et al.*, 1997a; Panetta *et al.*, 2006).

En la etapa de crecimiento-finalización, el comportamiento productivo se mantuvo con la concentración de proteína usada. Es posible reducir hasta cuatro unidades porcentuales la proteína en dietas basadas en sorgo-pasta de soya sin efecto detrimental en el comportamiento productivo (Myer y Gorbet, 2002); sin embargo, en cerdos de alta capacidad de síntesis de tejido magro, el comportamiento productivo no es adecuado al disminuir en esa magnitud la proteína de la dieta. Esta menor respuesta puede explicarse porque en este tipo de dietas existen deficiencias marginales de aminoácidos esenciales y posiblemente otros nutrientes y los requerimientos nutricionales en ese tipo de cerdos son mayores (Gómez *et al.*, 2002a). Lo anterior ha sido mostrado, ya que con la adición de valina e isoleucina a estas dietas este efecto negativo ha sido superado (Shriver *et al.*, 2003). Adicionalmente, cuando se mantiene una adecuada relación entre aminoácidos esenciales y energía neta, la proteína de la dieta se puede reducir en cuatro unidades porcentuales sin afectar negativamente la respuesta productiva (Le Bellego *et al.*, 2002).

Los resultados obtenidos sugieren que el ALC no tiene efecto en el comportamiento productivo, al menos en las condiciones experimentales de la presente evaluación. Esto difiere de lo observado en lechones, donde la inclusión de 2 % de ALC en la dieta mejoró en 12 % la GDP y en 9 % la EA, además de aumentar la respuesta inmune ante problemas digestivos (Lai *et al.*, 2005). En cerdos en crecimiento, la

inclusión de 0.5 % de ALC en la dieta no mejoró las variables productivas en comparación con el aceite de soya (O'Quinn *et al.*, 2000); el mismo resultado se ha observado al reemplazar aceite de maíz por ALC hasta en 2 % en la dieta de cerdos de 20 a 55 kg (Ramsay *et al.*, 2001), o con la sustitución de 1 % de aceite de girasol por ALC (Schinckel *et al.*, 2000). Los resultados en la etapa de finalización del presente experimento contrastan con lo encontrado con la inclusión desde 0.5 hasta 1.25 % de isómeros de ALC que mejoraron la EA (Lauridsen *et al.*, 2005; Ostrowska *et al.*, 1999; Wiegand *et al.*, 2002), y mayor concentración (4 %) mejoró la GDP (Sun *et al.*, 2004). Contradictoriamente se ha reportado que la adición de 2 % de ALC en la dieta el comportamiento productivo no se mejora (Bee, 2001; Migdal *et al.*, 2004; Martin *et al.*, 2008) y en algunos casos se ha observado reducción de la GDP con la adición de 1 % de ALC (Eggert *et al.*, 2001).

La inclusión de ASA en la dieta mantuvo una respuesta productiva similar a la observada con el uso de ACS o ALC en las etapas productivas evaluadas. En lechones al destete consumiendo concentraciones de hasta 7 % de ASA, la respuesta productiva no se afectó y la EA mejoró (Starkey *et al.*, 2002a). En cerdos en etapa de finalización alimentados con dietas adicionadas con 6 % del ASA durante 70 d, se mejoró la GDP y la EA (Starkey *et al.*, 2002b). Estos resultados se obtuvieron aunque se ha observado que la digestibilidad ileal aparente de la materia seca, proteína cruda y aminoácidos es menor en dietas semipurificadas para cerdos que contienen 0.5 o 1.5 % de ASA (Bruce *et al.*, 2006). También, se ha observado que en dietas adicionadas con 53 % de ácidos grasos libres, no tiene efecto adverso en el comportamiento de lechones, pero el grado de rancidez debe considerarse porque afecta la calidad de la grasa dietética (DeRouchey *et al.*, 2004).

Características de la canal

Las concentraciones de proteína evaluadas en esta investigación no influyeron en las características de la canal. Los resultados obtenidos en la etapa crecimiento-finalización, coinciden con lo encontrado al disminuir cuatro unidades porcentuales la PC en dietas sorgo-pasta de soya (Myer y Gorbet, 2002) o maíz-pasta de soya (Le Bellego *et al.*, 2002; Kerr *et al.*, 2003a; Shriver *et al.*, 2003) adicionadas con

aminoácidos sintéticos, ya que no se afectó el porcentaje de CM y la GCM. La correcta adición de aminoácidos en este tipo de dietas es necesaria porque la deficiencia de algunos aminoácidos esenciales como valina e isoleucina pueden provocar una mayor acumulación de lípidos (Kerr *et al.*, 1995; Knowles *et al.*, 1998; Atakora *et al.*, 2003) y menor acumulación de proteína corporal (Gómez *et al.*, 2002b), reflejándose en menor GCM y AML en las canales (Figuroa *et al.*, 2002). Se ha sugerido que la reducción en la PC no sea tan amplia para no afectar el desempeño productivo y la composición corporal en cuanto a la acumulación de proteína y lípidos (Tuitoek *et al.*, 1997b).

El incremento del AML observado en la etapa de iniciación en el presente experimento coincide con el reportado por Wiegand *et al.* (2002) y Su *et al.* (2006) en la etapa de finalización en cerdos alimentados con 1.25 a 3 % de ALC, donde también incrementó el porcentaje de CM y disminuyó la GD. En las etapas de crecimiento y finalización el ALC no afectó las características de la canal; esto se ha observado con la adición de 0.5 a 2 % de ALC en las dietas para cerdos en crecimiento (O'Quinn *et al.*, 2000; Ramsay *et al.*, 2001) y en crecimiento-finalización no influye en el AML, porcentaje de CM y GD (Lauridsen *et al.*, 2005). En la etapa de finalización, la inclusión de 1 % (Eggert *et al.*, 2001; Averette-Gatlin *et al.*, 2002; Martin *et al.*, 2008) ó 2 % de ACL en la dieta (Migdal *et al.*, 2004) no afectó las características de la canal. Contrariamente, la inclusión de ALC en la dieta a la misma concentración (1 ó 2 %) reduce el grosor de la GD (Ostrowska *et al.*, 1999; Schinckel *et al.*, 2000, Thiel-Cooper *et al.*, 2001; Bee, 2001); también se ha observado que las características de la canal presentan una respuesta cuadrática a la concentración de ALC, alcanzando su máximo con 0.5 % de ALC en la dieta (Ostrowska *et al.*, 1999), pero en el presente experimento la GCM fue menor para los tratamientos que incluyeron ALC.

Los resultados obtenidos con el ALC pueden deberse a que cerdos de menor capacidad para ganancia de tejido magro y mayor contenido de tejido adiposo responden mejor al tratamiento con ALC en comparación con cerdos de alta capacidad genética para síntesis de proteína muscular (Azain, 2003). Otro factor que afecta la respuesta de los cerdos al consumir ALC, es la duración del tratamiento (Azain, 2003); porque a pesar de mejorar el AML y porcentaje de CM, conforme aumenta el periodo de consumo de ALC el contenido de grasa en la carne incrementa (Su *et al.*, 2006).

También, se ha observado distinto resultado en las características de la canal por el tipo de medición; Thiel-Cooper *et al.* (2001) reportan menor GD en medición directamente o por ultrasonido en los cerdos consumiendo ALC. Pero se ha observado que el efecto no es fácil de detectar cuando la determinación se hace con ultrasonido y es más conveniente la medición directa en la canal (Azain, 2004).

La inclusión de ASA en la dieta de iniciación aumentó el AML y mejoró la GCM en etapa de finalización sin incrementar la GD; este resultado puede deberse a que la inclusión de este aceite fue baja, ya que concentraciones de 6 % en la dieta de cerdos en finalización aumenta la GD y disminuye la ganancia de carne magra (Starkey *et al.*, 2002b), por lo que incluir el ACS para cubrir las necesidades energéticas en dietas basadas en sorgo-pasta de soya durante la engorda es recomendable porque no afecta la respuesta de los cerdos y su costo es bajo comparado con el de ACS.

Concentración de urea en plasma

La reducción en la CUP, obtenida con las dietas bajas en proteína evaluadas en el presente experimento es indicativo de la disminución en la excreción de nitrógeno urinario (Akemi *et al.*, 2002; Gómez *et al.*, 2002a; Tartrakoon *et al.*, 2004) y de la producción de amoníaco, que es proporcional a la reducción en el contenido de PC en la dieta (Powers *et al.*, 2007). La CUP y la excreción de N disminuyen linealmente (Figuroa *et al.*, 2002) hasta en 60 % al bajar en cuatro unidades porcentuales el contenido PC, con el riesgo de influir negativamente en el comportamiento productivo y las características de la canal (Kendall *et al.*, 1998). Este problema puede corregirse adicionando los aminoácidos esenciales limitantes (Zervas y Zijlstra, 2002; Shriver *et al.*, 2003) y ajustando la concentración de energía (Le Bellego *et al.*, 2002), ya que en este tipo de dietas es menor el gasto energético para los procesos de desaminación, transaminación y formación de urea (Gómez *et al.*, 2002b). Es importante no disminuir en forma tan amplia la proteína de la dieta para no afectar el desempeño de los cerdos, pero sí considerar que esta estrategia es de bajo costo para controlar la producción de gases en sistemas de producción intensiva de cerdos (Hayes *et al.*, 2004).

La CUP no fue afectada por la adición de ALC; esta respuesta se ha observado en cerdos en crecimiento consumiendo 1 % de ALC en la dieta (Ramsay *et al.*, 2001) o

en cerdos de 105 a 153 kg suplementados con 0.75 % de ALC (Corino *et al.*, 2008), sugiriendo que el efecto del ALC es principalmente en el metabolismo de lípidos.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Proporcionar dietas con 16 % de proteína a cerdos en iniciación no favorece un adecuado desempeño en los lechones; utilizar 14.5 % de proteína cruda en crecimiento y 12.5 % en finalización no altera el comportamiento productivo, las características de la canal y reduce la concentración de urea plasmática, lo cual se refleja en una menor excreción de nitrógeno.

El uso de ALC en dietas estándar o de baja proteína para cerdos en engorda no mejora el comportamiento productivo o las características de la canal; su adición en la dieta debe estar en función de su costo.

El aceite de soya acidulado es una fuente energética de bajo costo, puede sustituir al aceite crudo de soya en dietas para cerdos en engorda, porque no influye negativamente en la respuesta productiva o las características de la canal.

LITERATURA CITADA

- Akemi, Y., T. Eiji, F. Chieko, I. Minoru, I. Yuji, Y. I. Yohihiko, Y. Michi, and F. Shu. 2002. Effect of feeding a reduced protein, amino acid-supplemented diet on the excretion of urine and nitrogen, and the ammonia emission from slurry in growing pigs. *Jap. J. Swi. Sci.* 39(1). Abstr. <http://scielinks.jp/j-east/article/200211/000020021102A0281099.php>
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis* (15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA. 1298 p.
- Atakora, J. K. A., S. Möhn, and R. O. Ball. 2003. Low protein diets reduce greenhouse gas production in finisher pigs while maintaining animal performance. 9th International Symposium on Digestive Physiology in Pigs, Banff, AB, Canada. Vol. 2: 296-298.
- Averete-Gatlin, L., M. T. See, D. K. Larick, X. Lin, and J. Odle. 2002. Conjugated linoleic acid in combination with supplemental dietary fat alters pork fat quality. *J. Nutr.* 132: 3105–3112.

- Azain, M. J. 2003. Conjugated linoleic acid and its effects on animal products and health in single-stomached animals. *Proc. Nutr. Soc.* 62: 319-328.
- Azain, M. J. 2004. Effect of conjugated linoleic acid (CLA) on growth performance, backfat thickness and loin muscle area in pigs sorted based on initial leanness. *J. Anim. Sci.* 82(2): 78 (Abstr.).
- Bee, G. 2001. Dietary conjugated linoleic acids affect tissue lipid composition but not *de novo* lipogenesis in finishing pigs. *Anim. Res.* 50: 383–399.
- Bruce, K. J., L. K. Karr-Lilienthal, K. E. Zinn, L. L. Pope, D. C. Mahan, N. D. Fastinger, M. Watts, P. L. Utterback, C. M. Parsons, E. O. Castaneda, M. Ellis, and G. C. Fahey. 2006. Evaluation of the inclusion of soybean oil and soybean processing by-products to soybean meal on nutrient composition and digestibility in swine and poultry. *J. Anim. Sci.* 84: 1403–1414.
- Chaney, A. L., and E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8: 130-132.
- Corino, C., M. Musella, G. Pastorelli, R. Rossi, K. Paolone, L. Costanza, A. Manchisi, and G. Maiorano. 2008. Influences of dietary conjugated linoleic acid (CLA) and total lysine content on growth, carcass characteristics and meat quality of heavy pigs. *Meat Sci.* 79: 307–316.
- DeRouchey, J. M., J. D. Hancock, R. H. Hines, C. A. Maloney, D. J. Lee, H. Cao, D. W. Dean, and J. S. Park. 2004. Effects of rancidity and free fatty acids in choice white grease on growth and nutrient digestibility in weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 82: 2937-2944.
- Dugan, M. E. R., J. L. Aalhus, L. E. Jeremiah, J. K. G. Kramer, and A. L. Schaefer. 1999. The effects of feeding conjugated linoleic acid on subsequent pork quality. *Can. J. Anim. Sci.* 79: 45-51.
- Dumont, M. J., and S. S. Narine. 2007. Soapstock and deodorizer distillates from north american vegetable oils: Review on their characterization, extraction and utilization. *Food Res. Int.* 40: 957-974.
- Eggert, J. M., M. A. Belury, A. Kempa-Steczko, S. E. Mills, and A. P. Schinckel. 2001. Effects of conjugated linoleic acid on the belly firmness and fatty acid composition of genetically lean pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 2866-2872.

- Figuroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, R. S. Gómez, and R. M. Diedrichsen. 2002. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 80: 2911-2919.
- Figuroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, and R. M. Diedrichsen. 2003. Growth, carcass traits, and plasma amino acid concentrations of gilts fed low-protein diets supplemented with amino acids including histidine, isoleucine, and valine. *J. Anim. Sci.* 81: 1529-1537.
- Figuroa, J. L., M. Martínez, J. E. Trujillo, V. Zamora, J. L. Cordero, M. T. Sánchez-Torres. 2008. Plasma urea nitrogen concentration and growth performance of finishing pigs fed sorghum-soybean meal, low-protein diets. *J. Appl. Anim. Res.* 33: 7-12.
- Gómez, R. S., A. J. Lewis, P. S. Miller, and H. Y. Chen. 2002a. Growth performance, diet apparent digestibility, and plasma metabolite concentrations of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *J. Anim. Sci.* 80: 644-653.
- Gómez, R. S., A. J. Lewis, P. S. Miller, H. Y. Chen, and R. M. Diedrichsen. 2002b. Body composition and tissue accretion rates of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *J. Anim. Sci.* 80: 654-662.
- Hansen, J. A., D. A. Knabe, and K. G. Burgoon. 1993a. Amino acid supplementation of low-protein, sorghum-soybean meal diets for 5- to 20-kilogram swine. *J. Anim. Sci.* 71: 452-458.
- Hansen, J. A., D. A. Knabe, and K. G. Burgoon. 1993b. Amino acid supplementation of low-protein, sorghum-soybean meal diets for 20- to 50-kilogram swine. *J. Anim. Sci.* 71: 442-451.
- Hayes, E. T., A. B. G. Leek, T. P. Curran, V. A. Dodd, O. T. Carton, V. E. Beattie, and J. V. O'Doherty. 2004. The influence of diet crude protein level on odour and ammonia emissions from finishing pig houses. [Biores.Tech.](#) 91(3): 309-315.

- Herr, C. T., D. C. Kendall, K. A. Bowers, and B. T. Richert. 2000. Evaluating variable feed energy levels for grow-finish pigs. *Purdue University Swine Day*. pp: 35-38.
- Kendall, D. C., K. M. Lemenager, B. T. Richert, A. L. Sutton, J. W. Frank, B. A. Belstra, and D. Bundy. 1998. Effects of intact protein diets versus reduced crude protein diets supplemented with synthetic amino acids on pig performance and ammonia levels in swine buildings. *Purdue University Swine Day*. pp 141-146.
- Kerr, B. J., and R. A. Easter. 1995. Effect of feeding reduced protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen and energy balance in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 73: 3000-3008.
- Kerr, B. J., F. K. McKeith, and R. A. Easter. 1995. Effect on performance and carcass characteristics of nursery to finisher pigs fed reduced crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 73: 433-440.
- Kerr, B. J., J. T. Yen, J. A. Nienaber, and R. A. Easter. 2003a. Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 1998-2007.
- Kerr, B. J., L. L. Southern, T. D. Bidner, K. G. Friesen, and R. A. Easter. 2003b. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 81: 3075–3087.
- Knowles, T. A., L. L. Southern, T. D. Bidner, B. J. Kerr, and K. G. Friesen. 1998. Effect of dietary fiber or fat in low-crude protein, crystalline amino acid-supplemented diets for finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 76: 2818-2832.
- Lai, C., J. Yin, D. Li, L. Zhao, and X. Chen. 2005. Effects of dietary conjugated linoleic acid supplementation on performance and immune function of weaned pigs. *Arch. Anim. Nutr.* 59(1): 41-51.
- Lauridsen, C., H. Mu, and P. Henckel. 2005. Influence of dietary conjugated linoleic acid (CLA) and age at slaughtering on performance, slaughter and meat quality, lipoproteins, and tissue deposition of CLA in barrows. *Meat Sci.* 69: 393–399.
- Le Bellego, L., J. van Milgen, S. Dubois, and J. Noblet. 2001. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 1259-1271.

- Le Bellego, L., J. van Milgen, and J. Noblet. 2002. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 691-701.
- Le Bellego, L., and J. Noblet. 2002. Performance and utilization of dietary energy and amino acids in piglets fed low protein diets. *Livest. Prod. Sci.* [76](#): 45-58.
- Martin, D., E. Muriel, E. González, J. Viguera, and J. Ruiz. 2008. Effect of dietary conjugated linoleic acid and monounsaturated fatty acids on productive, carcass and meat quality traits of pigs. *Livest. Sci.* 117: 155-164.
- Martínez-Aispuro, M., J. L. Figueroa-Velasco, J. E. Trujillo-Coutiño, V. Zamora-Zamora, J. L. Cordero-Mora, M. T. Sánchez-Torres, y L. Reyna-Santamaría. 2009. Respuesta productiva y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína. *Vet. Mex.* 40 (1): 27-38.
- Mateos, G. G., P. G. Rebollar, y P. Medel. 1996. Utilización de grasas y productos lipídicos en alimentación animal: grasas puras y mezclas. XII Curso de especialización FEDNA. Madrid, España. 18 p.
- Mersmann, H. J. 2002. Mechanisms for conjugated linoleic acid-mediated reduction in fat deposition. *J. Anim. Sci.* 80: 126-134.
- Microsoft Excel. Microsoft Corporation. 1985-2001. USA. Redmond, WA, USA.
- Migdal, W., P. Pasciak, D. Wojtysiak, T. Barowicz, M. Pieszka, and M. Pietras. 2004. The effect of dietary CLA supplementation on meat and eating quality, and the histochemical profile of the m. *longissimus dorsi* from stress susceptible fatteners slaughtered at heavier weights. *Meat Sci.* 66: 863-870.
- Myer, R. O., and D. W. Gorbet. 2002. Crystalline amino acid supplementation of grain sorghum-based, low protein diets for growing and finishing swine. *J. Anim. Sci.* 80 (2): 41 (Abstr.).
- Narciso, G. C. 2002. Estimación de energía metabolizable y valor biológico de aceite de soya con alto contenido de ácidos grasos libres, para la alimentación de las aves. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 36 pág.

- NPPC. 1991. Procedures to evaluate market hogs (3rd Ed.). National Pork Producers Council. Des Moines, IA, USA.
- NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine (10th Ed.). National Academy Press. Washington, D. C. 189 p.
- O'Quinn, P. R., J. L. Nelssen, R. D. Goodband, J. A. Unruh, J. C. Woodworth, J. S. Smith, and M. D. Tokach. 2000. Effects of modified tall oil versus a commercial source of conjugated linoleic acid and increasing levels of modified tall oil on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 78: 2359-2368.
- Ostrowska, E., M. Muralitharan, R. F. Cross, D. E. Bauman, and F. R. Dunshea. 1999. Dietary conjugated linoleic acids increase lean tissue and decrease fat deposition in growing pigs. *J. Nutr.* 129: 2037-2042.
- Panetta, D. M., W. J. Powers, H. Xin, B. J. Kerr, and K. J. Stalder. 2006. Nitrogen excretion and ammonia emissions from pigs fed modified diets. *J. Environ. Qual.* 35: 1297-1308.
- Powers, W. J., S. B. Zamzow, B. J. Kerr. 2007. Reduced crude protein effects on aerial emissions from swine. *Appl. Eng. Agr.* 23(4): 539-546.
- Powles, J., J. Wiseman, D. J. A. Cole, and S. Jagger. 1995. Prediction of the apparent digestible energy value of fats given to pigs. *Anim. Sci.* 61: 149-154.
- Ramsay, T. G., C. M. Evock-Clover, N. C. Steele, and M. J. Azain. 2001. Dietary conjugated linoleic acid alters fatty acid composition of pig skeletal muscle and fat. *J. Anim. Sci.* 79: 2152-2161.
- SAS. 2002. The SAS System for windows V9. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Schinckel, A. P., J. M. Eggert, B. T. Richert, and A. L. Carroll. 2000. Effects of conjugated linoleic acid (CLA) supplementation on pig growth, pork quality and carcass composition in two genetic populations of gilts. *Purdue University Swine Day.* pp. 51-53.
- Shriver, J. A., S. D. Carter, A. L. Sutton, B. T. Richert, B. W. Senne, and L. A. Pettey. 2003. Effects of adding fiber sources to reduced-crude protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen excretion, growth performance, and carcass traits of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 492-502.

- Starkey, C. W., J. D. Hancock, D. H. Kropf, C. L. Jones, K. H. Hachmeister, and J. D. Dunn. 2002a. Acidulated soapstock and restaurant grease in diets for finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 80 (2): 39 (Abstr.).
- Starkey, C. W., J. D. Hancock, C. L. Jones, and D. J. Lee. 2002b. Acidulated soapstock and restaurant grease in diets for nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 80 (2): 9 (Abstr.).
- Steel, D. R. G., J. H. Torrie, and D. A. Dickey. 1997. *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill. 356 p.
- Su, T. M., C. F. Liu, S. F. Wu, and C. W. Liao. 2006. Effect of dietary conjugated linoleic acid on the growth, carcass characteristics and meat fatty acid composition for TLRI Black Pig No.1. Symposium COA/INRA Scientific Cooperation in Agriculture, Tainan (Taiwan, R.O.C.), November 7-10. pp 87-90.
- Sun, D., X. Zhu, S. Qiao, S. Fan, and D. Li. 2004. Effects of conjugated linoleic acid levels and feeding intervals on performance, carcass traits and fatty acid composition of finishing barrows. *Arch. Anim. Nutr.* 58 (4): 277-286.
- Tartrakoon, W., K. Wuthijaree, and K. Udomsri. 2004. Reduction of N-excretion in growing-finishing pigs using low protein diets. Rural Poverty Reduction through Research for Development. Deutscher Tropentag, October 5-7, Berlin. Pag. 211 (Abstr.).
- Thiel-Cooper, R. L., F. C. Parrish, Jr., J. C. Sparks, B. R. Wiegand, and R. C. Ewan. 2001. Conjugated linoleic acid changes swine performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 79: 1821-1828.
- Trujillo, J. E., J. L. Figueroa, M. Martínez, V. Zamora, J. L. Cordero, M. T. Sánchez-Torres, M. Cuca, y M. Cervantes. 2007. Concentración de urea en plasma y respuesta productiva de cerdos en iniciación alimentados con dietas sorgo-pasta de soya bajas en proteína. *Agrociencia* 41(6): 597-607.
- Tuitoek, K., L. G. Young, C. F. M. de Lange, and B. J. Kerr. 1997a. The effect of reducing excess dietary amino acids on growing-finishing pig performance: an evaluation of the ideal protein concept. *J. Anim. Sci.* 75: 1575-1583.
- Tuitoek, K., L. G. Young, C. F. M. de Lange, and B. J. Kerr. 1997b. Body composition and protein and fat accretion in various body components in growing gilts fed diets

with different protein levels but estimated to contain similar levels of ideal protein.
J. Anim. Sci. 75: 1584-1590.

Wiegand, B. R., J. C. Sparks, F. C. Parrish, Jr., and D. R. Zimmerman. 2002. Duration of feeding conjugated linoleic acid influences growth performance, carcass traits, and meat quality of finishing barrows. J. Anim. Sci. 80: 637-643.

Zervas, S., and R. T. Zijlstra. 2002. Effects of dietary protein and fermentable fiber on nitrogen excretion patterns and plasma urea in grower pigs. J. Anim. Sci. 80: 3247-3256.

Cuadro 2.2. Composición de las dietas experimentales para cerdos en iniciación

Tipo de aceite	ACS	ALC	ASA	ACS	ALC	ASA	
Proteína cruda, %	20.50	20.50	20.50	16.00	16.00	16.00	
Ingrediente, %	T1	T2	T3	T4	T5	T6	NRC (1998)*
Sorgo	62.391	62.391	62.116	76.729	76.729	76.543	
Pasta de Soya	33.323	33.323	33.384	18.304	18.304	18.345	
Aceite crudo de soya	1.376	0.000	0.000	0.930	0.000	0.000	
Aceite de soya acidulado	0.000	0.000	1.592	0.000	0.000	1.076	
Ácido linoleico conjugado	0.000	1.376	0.000	0.000	0.930	0.000	
Bio-Lys (L-Lisina-H ₂ SO ₄)****	0.117	0.117	0.115	0.305	0.305	0.304	
DL-Metionina	0.017	0.017	0.017	0.140	0.140	0.140	
Tripto-Plus (L-Triptófano)***	0.000	0.000	0.000	0.466	0.466	0.465	
L-Treonina	0.000	0.000	0.000	0.183	0.183	0.183	
Vitaminas y minerales**	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	
Sal común	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	
Antioxidante	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	
CaCO ₃	1.026	1.026	1.025	1.093	1.093	1.093	
Fosfato dicálcico	1.027	1.027	1.028	1.128	1.128	1.128	
Antibiótico	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	
Total	100	100	100	100	100	100	
Análisis calculado, %							
Energía metabolizable, Mcal kg ⁻¹	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265
Proteína cruda	20.50	20.50	20.50	16.00	16.00	16.00	20.9
Calcio	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Fósforo disponible	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
Lisina	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Treonina	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.63
Triptófano	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.18
Metionina	0.30	0.30	0.30	0.36	0.36	0.36	0.27
Arginina	1.21	1.21	1.21	0.81	0.81	0.81	0.42
Histidina	0.47	0.47	0.47	0.34	0.34	0.34	0.32
Isoleucina	0.78	0.78	0.79	0.57	0.57	0.57	0.55
Leucina	1.68	1.68	1.68	1.39	1.39	1.39	1.02
Valina	0.84	0.84	0.84	0.64	0.64	0.64	0.69
Metionina + Cistina	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
Análisis determinado, %							
Proteína cruda	21.2	20.1	21.5	16.7	17.1	16.6	

* Sugerencia de nutrimentos para cerdos (10-20 kg) en base aminoácidos digestibles verdaderos (NRC, 1998).

** Cada kg de alimento aportó: vitamina A, 6250 UI; vitamina D, 1250 UI; vitamina E, 25 UI; vitamina K3, 2.5 mg; B1, 1.25 mg; B2, 6.25 g; B5, 31.25 mg; B6, 2.5 mg; B12, 0.01875 mg; ácido fólico, 3.75 mg; Vit. H, 0.225 mg; ácido pantoténico, 18.75 mg; colina, 381.25 mg; Fe, 125 mg; Zn, 125 mg; Mn, 125 mg; Cu, 12.5 mg; Se, 0.25 mg; I, 0.375 mg; Co, 0.125 mg.

*** Tripto Plus contiene: proteína cruda, 95 %; lisina, 55.3 %; treonina, 0.15 %; triptófano, 15 %; valina, 0.5 %; metionina+cistina, 1.75 %.

**** Bio Lys contiene: proteína cruda, 75 %; fósforo disponible, 0.16 %; lisina, 50.7 %; treonina, 0.4 %; triptófano, 0.14 %; metionina, 0.2 %; arginina, 0.6 %; isoleucina, 0.4 %; leucina, 0.7 %; valina, 0.7 %; cistina, 0.1 %.

***** Ácido linoleico conjugado (LutaCLA® 60 BASF Mexicana) contiene: 9c, 11t metil éster, 30 %; 10t, 12c metil éster, 30 %; otros isómeros, ≤1 %; ácido oleico, 22 %; ácido palmítico, 6 %; ácido esteárico, 4 %; ácido linoleico, 2 %; metanol, ≤100 ppm; metales pesados, ≤1 ppm.

Cuadro 2.3. Composición de las dietas experimentales para cerdos en crecimiento

Tipo de aceite	ACS	ALC	ASA	ACS	ALC	ASA	
Proteína cruda, %	16.0	16.0	16.0	14.5	14.5	14.5	
Ingrediente, %	T1	T2	T3	T4	T5	T6	NRC (1998)*
Sorgo	77.146	77.146	77.025	81.924	81.924	81.834	
Pasta de Soya	19.464	19.464	19.491	14.458	14.458	14.478	
Aceite crudo de soya	0.601	0.000	0.000	0.451	0.000	0.000	
Aceite de soya acidulado	0.000	0.000	0.696	0.000	0.000	0.522	
Ácido linoleico conjugado	0.000	0.601	0.000	0.000	0.451	0.000	
Bio-Lys (L-Lisina·H ₂ SO ₄)****	0.375	0.375	0.374	0.445	0.445	0.445	
DL-Metionina	0.022	0.022	0.022	0.063	0.063	0.063	
Tripto-Plus (L-Triptófano)***	0.022	0.022	0.022	0.170	0.170	0.170	
L-Treonina	0.032	0.032	0.032	0.094	0.094	0.094	
Vitaminas y minerales**	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	
Sal común	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	
Antioxidante	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	
CaCO ₃	1.029	1.029	1.029	1.051	1.051	1.051	
Fosfato dicálcico	0.687	0.687	0.687	0.720	0.720	0.720	
Total	100	100	100	100	100	100	
Análisis calculado, %							
Energía metabolizable, Mcal kg ⁻¹	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265
Proteína cruda	16.00	16.00	16.00	14.50	14.50	14.50	18
Calcio	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Fósforo disponible	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Lisina	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
Treonina	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
Triptófano	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.15
Metionina	0.25	0.25	0.25	0.27	0.27	0.27	0.22
Arginina	0.84	0.84	0.84	0.71	0.71	0.71	0.33
Histidina	0.35	0.35	0.35	0.30	0.30	0.30	0.26
Isoleucina	0.59	0.59	0.59	0.52	0.52	0.52	0.45
Leucina	1.43	1.43	1.43	1.33	1.33	1.33	0.83
Valina	0.66	0.66	0.66	0.59	0.59	0.59	0.56
Metionina + Cistina	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
Análisis determinado, %							
Proteína cruda	15.8	16.5	16.9	13.9	14.7	14.2	

* Sugerencia de nutrimentos para cerdos (20-50 kg) en base aminoácidos digestibles verdaderos (NRC, 1998).

** Cada kg de alimento aportó: vitamina A, 6250 UI; vitamina D, 1250 UI; vitamina E, 25 UI; vitamina K3, 2.5 mg; B1, 1.25 mg; B2, 6.25 g; B5, 31.25 mg; B6, 2.5 mg; B12, 0.01875 mg; ácido fólico, 3.75 mg; Vit. H, 0.225 mg; ácido pantoténico, 18.75 mg; colina, 381.25 mg; Fe, 125 mg; Zn, 125 mg; Mn, 125 mg; Cu, 12.5 mg; Se, 0.25 mg; I, 0.375 mg; Co, 0.125 mg.

*** Tripto Plus contiene: proteína cruda, 95 %; lisina, 55.3 %; treonina, 0.15 %; triptófano, 15 %; valina, 0.5 %; metionina+cistina, 1.75 %.

**** Bio Lys contiene: PC, 75 %; fósforo disponible, 0.16 %; lisina, 50.7 %; treonina, 0.4 %; triptófano, 0.14 %; metionina, 0.2 %; arginina, 0.6 %; isoleucina, 0.4 %; leucina, 0.7 %; valina, 0.7 %; cistina, 0.1 %.

***** Ácido linoleico conjugado (LutaCLA® 60 BASF Mexicana) contiene: 9c, 11t metil éster, 30 %; 10t, 12c metil éster, 30 %; otros isómeros, ≤1 %; ácido oleico, 22 %; ácido palmítico, 6 %; ácido esteárico, 4 %; ácido linoleico, 2 %; metanol, ≤100 ppm; metales pesados, ≤1 ppm.

Cuadro 2.4. Composición de las dietas experimentales para cerdos en finalización

Tipo de aceite	ACS	ALC	ASA	ACS	ALC	ASA	
Proteína cruda, %	14.0	14.0	14.0	12.5	12.5	12.5	
Ingrediente, %	T1	T2	T3	T4	T5	T6	NRC (1998)*
Sorgo	83.624	83.624	83.576	88.387	88.387	88.369	
Pasta de Soya	13.766	13.766	13.777	8.787	8.787	8.791	
Aceite crudo de soya	0.240	0.000	0.000	0.091	0.000	0.000	
Aceite de soya acidulado	0.000	0.000	0.278	0.000	0.00	0.106	
Ácido linoleico conjugado	0.000	0.240	0.000	0.000	0.091	0.000	
Bio-Lys (L-Lisina·H ₂ SO ₄)****	0.324	0.324	0.324	0.409	0.409	0.409	
DL-Metionina	0.000	0.000	0.000	0.029	0.029	0.029	
Tripto-Plus (L-Triptófano)***	0.000	0.000	0.000	0.133	0.133	0.133	
L-Treonina	0.009	0.009	0.009	0.070	0.070	0.070	
Vitaminas y minerales**	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	
Sal común	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	
Antioxidante	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	
CaCO ₃	0.882	0.882	0.882	0.904	0.904	0.904	
Fosfato dicálcico	0.532	0.532	0.532	0.565	0.565	0.565	
Total	100	100	100	100	100	100	
Análisis calculado, %							
Energía metabolizable, Mcal kg ⁻¹	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265
Proteína cruda	14.00	14.00	14.00	12.50	12.50	12.50	15.5
Calcio	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Fósforo disponible	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Lisina	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
Treonina	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
Triptófano	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.12
Metionina	0.20	0.20	0.20	0.21	0.21	0.21	0.18
Arginina	0.69	0.69	0.69	0.56	0.56	0.56	0.24
Histidina	0.30	0.30	0.30	0.26	0.26	0.26	0.21
Isoleucina	0.51	0.51	0.51	0.44	0.44	0.44	0.37
Leucina	1.33	1.33	1.33	1.23	1.23	1.23	0.67
Valina	0.58	0.58	0.58	0.51	0.51	0.51	0.45
Metionina + Cistina	0.40	0.40	0.40	0.39	0.39	0.39	0.39
Análisis determinado, %							
Proteína cruda	14.3	13.7	14.5	12.1	12.7	13.0	

* Sugerencia de nutrimentos para cerdos (50-80kg) en base aminoácidos digestibles verdaderos (NRC, 1998).

** Cada kg de alimento aportó: vitamina A, 6250 UI; vitamina D, 1250 UI; vitamina E, 25 UI; vitamina K3, 2.5 mg; B1, 1.25 mg; B2, 6.25 g; B5, 31.25 mg; B6, 2.5 mg; B12, 0.01875 mg; ácido fólico, 3.75 mg; Vit. H, 0.225 mg; ácido pantoténico, 18.75 mg; colina, 381.25 mg; Fe, 125 mg; Zn, 125 mg; Mn, 125 mg; Cu, 12.5 mg; Se, 0.25 mg; I, 0.375 mg; Co, 0.125 mg.

*** Tripto Plus contiene: proteína cruda, 95 %; lisina, 55.3 %; treonina, 0.15 %; triptófano, 15 %; valina, 0.5 %; metionina+cistina, 1.75 %.

**** Bio Lys contiene: proteína cruda, 75 %; fósforo disponible, 0.16 %; lisina, 50.7 %; treonina, 0.4 %; triptófano, 0.14 %; metionina, 0.2 %; arginina, 0.6 %; isoleucina, 0.4 %; leucina, 0.7 %; valina, 0.7 %; cistina, 0.1 %.

***** Ácido linoleico conjugado (LutaCLA® 60 BASF Mexicana) contiene: 9c, 11t metil éster, 30 %; 10t, 12c metil éster, 30 %; otros isómeros, ≤1 %; ácido oleico, 22 %; ácido palmítico, 6 %; ácido esteárico, 4 %; ácido linoleico, 2 %; metanol, ≤100 ppm; metales pesados, ≤1 ppm.

Cuadro 2.5. Efecto de la concentración de proteína cruda y tipo de aceite en la dieta de cerdos en iniciación (18.6-35.7kg)

Comportamiento productivo y características de la canal									
TRA	PC	TA	PI Kg	PF** kg	GDP g d ⁻¹	CAL** kg d ⁻¹	CA**	GDF** mm	AMLF** mm ²
1	20.5	ACS	18.7	35.6	809	1.38b	1.72	4.15a	1318
2	20.5	ALC	18.1	37.2	878	1.71a	1.92	5.23b	1459
3	20.5	ASA	19.0	37.7	914	1.69ab	1.86	4.19ab	1495
4	16.0	ACS	18.3	34.9	772	1.60ab	2.09	4.20a	1247
5	16.0	ALC	18.6	34.1	740	1.49ab	2.02	4.17a	1319
6	16.0	ASA	19.1	35.4	803	1.52ab	1.90	4.74ab	1324
EEM				0.268	0.013	0.028	0.032	0.100	19.67
Efectos principales									
	20.5		18.6	36.8a	861a	1.59	1.83a	4.52	1424 ^a
	16.0		18.5	34.8b	770b	1.54	2.00b	4.37	1297b
		ACS	18.5	35.2	791	1.49	1.90	4.17	1283b
		ALC	18.3	35.6	809	1.60	1.97	4.70	1389ab
		ASA	19.1	36.5	852	1.60	1.88	4.46	1409 ^a
Fuente de variación			Valor de P						
PC			0.001	0.001	0.307	0.016	0.453	0.003	
TA			0.187	0.147	0.177	0.501	0.102	0.030	
PC X TA			0.183	0.269	0.006	0.116	0.010	0.582	
PI			0.001		0.001	0.022	0.015	0.001	

^{a, b, c} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal por columna son diferentes ($P \leq 0.05$).

* TRA = tratamiento; PC = proteína cruda; ACS = aceite crudo de soya; ALC = ácido linoleico conjugado; ASA = aceite de soya acidulado; TA = tipo de aceite; EEM = error estándar de la media; PI = peso inicial; PF = peso final; GDP = ganancia diaria de peso; CAL = consumo de alimento; CA = conversión alimenticia; GDF = grasa dorsal final; AMLF = área del músculo *longissimus* final.

** Medias de tratamiento ajustadas usando peso inicial como covariable ($P \leq 0.05$).

Cuadro 2.6. Efecto de la concentración de proteína cruda y tipo de aceite en la dieta de cerdos en crecimiento (35.9-62.9kg)

Comportamiento productivo							Características de la canal					
TRA	PC	TA	PI kg	PF** kg	GDP** g d ⁻¹	CAL** g d ⁻¹	CA	GCM g d ⁻¹	GDF mm	AMLF mm ²	% CMF**	CUP mg 100mL
1	16.0	ACS	35.4	62.9	965	2.50	2.59	342	7.60	2119	39.2	16.74
2	16.0	ALC	36.5	62.8	962	2.52	2.65	346	8.16	2257	39.5	16.88
3	16.0	ASA	38.1	62.8	962	2.39	2.53	338	8.20	2314	39.7	18.98
4	14.5	ACS	35.5	63.9	998	2.56	2.57	348	7.80	2065	38.7	14.75
5	14.5	ALC	34.1	63.5	986	2.47	2.48	340	7.33	2124	39.4	14.62
6	14.5	ASA	35.9	61.7	922	2.33	2.53	323	7.60	2072	39.1	15.91
EEM				0.444	0.015	0.034	0.043	0.001	0.170	37.39	0.134	0.530
Efectos principales												
	16.0		36.7	62.9	963	2.47	2.59	342	8.00	2232	39.5	17.49a
	14.5		35.1	63.0	969	2.45	2.52	337	7.56	2089	39.1	15.06b
		ACS	35.5	63.4	982	2.53	2.58	345	7.70	2092	38.9	15.75
		ALC	35.3	63.2	974	2.50	2.56	343	7.75	2190	39.5	15.75
		ASA	37.0	62.3	942	2.36	2.53	331	7.90	2193	39.4	17.44
Fuente de variación			Valor de P									
PC			0.873	0.872	0.797	0.462	0.755	0.240	0.067	0.159	0.030	
TA			0.603	0.602	0.159	0.910	0.682	0.889	0.475	0.286	0.348	
PC X TA			0.615	0.612	0.732	0.684	0.845	0.445	0.613	0.834	0.914	
PI			0.001	0.022	0.001					0.003		

^{a, b} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal por columna son diferentes ($P \leq 0.05$).

* TRA = tratamiento; PC = proteína cruda; ACS = aceite crudo de soya; ALC = ácido linoleico conjugado; ASA = aceite de soya acidulado; TA = tipo de aceite; EEM = error estándar de la media; PI = peso inicial; PF = peso final; GDP = ganancia diaria de peso; CAL = consumo de alimento; CA = conversión alimenticia; GCM = ganancia de carne magra; GDF = grasa dorsal final; AMLF = área del músculo *longissimus* final; % CMF = porcentaje de carne magra final; CUP = concentración de urea en plasma.

** Medias de tratamiento ajustadas usando peso inicial como covariable ($P \leq 0.05$)

Cuadro 2.7. Efecto de la concentración de proteína cruda y tipo de aceite en la dieta de cerdos en finalización (62.3-93.3kg)

Comportamiento productivo							Características de la canal					
TRA	PC	TA	PI kg	PF** kg	GDP** g d ⁻¹	CAL** g d ⁻¹	CA	GCM** g d ⁻¹	GDF mm	AMLF* mm ²	% CMF	CUP mg 100mL
1	14.0	ACS	62.3	94.3	1105	3.26	2.98	414	11.40	3294	38.6	20.51
2	14.0	ALC	63.7	91.4	1003	3.02	3.05	339	13.00	3074	37.6	24.57
3	14.0	ASA	65.8	91.2	995	2.98	3.02	341	12.40	3052	37.7	21.28
4	12.5	ACS	59.6	95.6	1151	3.46	2.98	395	13.66	3117	37.5	18.69
5	12.5	ALC	61.0	92.5	1041	3.15	3.02	329	12.66	2857	36.9	17.56
6	12.5	ASA	61.8	95.1	1130	3.53	3.12	393	13.20	3160	37.6	21.21
EEM				0.598	0.020	0.065	0.055	0.001	0.439	54.98	0.162	0.593
Efectos principales						Valor de P						
14.0			63.9	92.3	1034	3.09b	3.02	365	12.31	3140	37.9	22.27 ^a
12.5			60.7	94.4	1107	3.38a	3.04	372	13.17	3045	37.3	19.03b
ACS			60.8	95.0	1128	3.36	2.98	404a	12.63	3205	38.0	19.51
ALC			62.4	91.9	1022	3.08	3.04	334b	12.83	2965	37.3	21.06
ASA			63.8	93.1	1063	3.25	3.07	367ab	12.80	3106	37.7	21.24
Fuente de variación												
PC				0.103	0.102	0.042	0.824	0.682	0.310	0.414	0.051	0.019
TA				0.124	0.124	0.226	0.812	0.010	0.954	0.209	0.187	0.478
PC X TA				0.591	0.593	0.398	0.874	0.234	0.477	0.448	0.496	0.058
PI				0.001	0.009	0.006		0.032		0.003		

^{a, b, c} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal por columna son diferentes ($P \leq 0.05$).

* TRA = tratamiento; PC = proteína cruda; ACS = aceite crudo de soya; ALC = ácido linoleico conjugado; ASA = aceite de soya acidulado; TA = tipo de aceite; EEM = error estándar de la media; PI = peso inicial; PF = peso final; GDP = ganancia diaria de peso; CAL = consumo de alimento; CA = conversión alimenticia; GCM = ganancia de carne magra; GDI = grasa dorsal inicial; GDF = grasa dorsal final; AMLF = área del músculo *longissimus* final; % CMF = porcentaje de carne magra final; CUP = concentración de urea en plasma.

** Medias de tratamiento ajustadas usando peso inicial como covariable ($P \leq 0.05$)

Cuadro 2.8. Efecto de la concentración de proteína cruda y tipo de aceite en la dieta de cerdos de 35.9 a 94.2 kg

Comportamiento productivo								Características de la canal				
TRA	PC	TA	PI kg	PF** kg	GDP g d ⁻¹	CAL** kg d ⁻¹	CA	GCM g d ⁻¹	GDF mm	AMLF** mm ²	% CMF	CUP mg 100mL
1	DT	ACS	35.4	95.0	1033	2.89	2.80	379	11.40	3316	38.6	20.51
2	DT	ALC	36.5	92.3	995	2.79	2.85	345	13.00	3088	37.6	24.57
3	DT	ASA	38.1	92.7	1012	2.73	2.78	346	12.40	3060	37.7	21.28
4	DBP	ACS	35.5	98.2	1090	3.09	2.83	373	14.20	3120	36.9	18.78
5	DBP	ALC	34.1	93.3	995	2.81	2.77	332	12.66	2903	36.9	17.56
6	DBP	ASA	35.9	94.3	1025	2.93	2.86	358	13.20	3142	37.6	21.21
EEM				0.924	0.016	0.041	0.044	0.001	0.443	60.35	6.642	0.613
Efectos principales												
DT			36.6	93.3	1012	2.81	2.81	356	12.31	3155	37.9a	22.27a
DBP			35.1	95.3	1034	2.94	2.81	353	13.31	3055	37.1b	19.08b
ACS			35.5	96.6	1062	2.99	2.81	376	12.8	3218	37.7	19.65
ALC			35.3	92.8	995	2.80	2.81	339	12.8	2995	37.3	21.06
ASA			37.0	93.5	1019	2.83	2.82	352	12.8	3101	37.6	21.24
Fuente de variación				Valor de P								
PC				0.321	0.478	0.128	0.925	0.887	0.231	0.433	0.003	0.024
TA				0.236	0.256	0.161	0.993	0.092	0.999	0.329	0.318	0.531
PC X TA				0.886	0.768	0.574	0.720	0.732	0.355	0.586	0.087	0.064
PI				0.001		0.028				0.034		

^{a, b} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal por columna son diferentes ($P \leq 0.05$).

* TRA = tratamiento; PC = proteína cruda; DT = dieta testigo; DBP = dieta baja en proteína; ACS = aceite crudo de soya; ALC = ácido linoleico conjugado; ASA = aceite de soya acidulado; TA = tipo de aceite; EEM = error estándar de la media; PI = peso inicial; PF = peso final; GDP = ganancia diaria de peso; CAL = consumo de alimento; CA = conversión alimenticia; GCM = ganancia de carne magra; GDF = grasa dorsal final; AMLF = área del músculo *longissimus* final; % CMF = porcentaje de carne magra final; CUP = concentración de urea en plasma.

** Medias de tratamiento ajustadas usando peso inicial como covariable ($P \leq 0.05$)

CAPÍTULO III.
CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS EN CARNE DE CERDOS ALIMENTADOS CON
DIETAS BAJAS EN PROTEINA ADICIONADAS CON ÁCIDO LINOLEICO
CONJUGADO O ACEITE DE SOYA ACIDULADO

CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS EN CARNE DE CERDOS ALIMENTADOS CON DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA ADICIONADAS CON ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO O ACEITE DE SOYA ACIDULADO

Al manipular la dieta de los cerdos es posible modificar el tipo y concentración de ácidos grasos en la grasa intramuscular. Se realizaron dos experimentos para evaluar el efecto de dietas con baja proteína (DBP) y diferente fuente de aceite en el contenido de ácidos grasos (PAG), isómeros del ácido linoleico conjugado (ALC) y lípidos totales (LT) en músculo *semimembranosus* (MS) y *longissimus* (ML). En experimento 1, 16 machos castrados (Yorkshire×Landrace) se distribuyeron en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×2, con dos concentraciones de proteína (iniciación: 20.5 y 16 %; crecimiento: 16 y 14.5%; finalización: 14 y 12.5 %) y 0 o 1 % de ALC. En el experimento 2, 24 machos castrados (Yorkshire×Landrace) se distribuyeron en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×3, con dos concentraciones de proteína (similar al Exp. 1) y tres aceites: aceite crudo de soya (ACS), aceite de soya acidulado (ASA) y ALC. Los cerdos se alojaron individualmente; las dietas basadas en sorgo-pasta de soya fueron formuladas para aminoácidos digestibles verdaderos y ofrecidas *ad libitum*. En el Exp. 1, la adición de ALC incrementó el contenido de isómeros de ALC, aumentó el total de ácidos grasos saturados (AGS) y disminuyó el total de ácidos grasos monoinsaturados ($P \leq 0.05$) en MS y ML. En el Exp. 2, las DBP acumularon más isómeros c9,t11 y c11,t9 de ALC, presentaron menor contenido de los ácidos eicosapentaenoico y docosahexaenoico ($P \leq 0.05$) e incrementaron los LT ($P = 0.06$) en MS; en ML y MS disminuyó el ácido linolénico con la DBP ($P \leq 0.05$); en MS, el tipo de aceite afectó la concentración de isómeros c9,t11 y c11,t9 de ALC y el TAGS ($P \leq 0.05$); en ML, el ALC incrementó en forma individual y total los ácidos grasos saturados ($P \leq 0.05$), disminuyó ($P \leq 0.05$) el porcentaje de ácido linolénico y docosapentaenoico, e incrementó los LT ($P = 0.06$). El análisis de resultados indica que las DBP afectan el contenido de ácidos grasos insaturados y aumentan los LT; el efecto del ALC es aumentar los AGS y la concentración de sus isómeros en la grasa intramuscular; el ASA produce un contenido de ácidos grasos similar al ACS.

Palabras clave: ácido linoleico conjugado, aceite acidulado, dietas bajas en proteína.

FATTY ACID PROFILE IN MEAT OF PIGS FED LOW-PROTEIN DIETS SUPPLEMENTED WITH CONJUGATED LINOLEIC ACID OR ACIDULATED SOYBEAN OIL SOAPSTOCK

ABSTRACT

It is possible to modify the fatty acid profile in intramuscular fat manipulating the diet of pigs. Therefore, two experiments were conducted to evaluate the effect of low protein diets (LPD) and different source of oil on the fatty acid profile (FAP), conjugated linoleic acid (CLA) isomers and total lipids (TL) in *semimembranosus* (SM) and *longissimus* (ML) muscles of pork. In the experiment 1, 16 barrows (Yorkshire×Landrace) were distributed in a completely randomized design with factorial 2×2 arrangement, with two concentrations of protein (nursery: 20.5 and 16 %; growing: 16 and 14.5 %; finishing: 14 and 12.5 %) and 0 or 1 % of CLA. In experiment 2, 24 barrows (Yorkshire×Landrace) were distributed in completely randomized design with a factorial 2×3 arrangement, with two protein concentrations (similar to Exp. 1) and three oil sources: crude soybean oil (CSO), acidulated soybean oil (ASO) and CLA. In Exp 1, the addition of CLA increased the content of isomers of CLA, increased total saturated fatty acids (TSFA) and decreased the total monounsaturated fatty acids ($P \leq 0.05$) in MS and ML. Linolenic acid decreased in ML with LPD ($P=0.08$). In Exp 2, the LPD accumulated more isomers c9, t11 and c11, t9 CLA, had lower concentration of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids ($P \leq 0.05$) and increased the TL ($P=0.06$) in MS; in ML and MS, linolenic acid decreased with LPD ($P \leq 0.05$); in MS, the type of oil affected the concentration of isomers c9, t11 and c11, t9 CLA and TSFA ($P \leq 0.05$); in ML, CLA increased individually and total saturated fatty acids ($P \leq 0.05$), decreased ($P \leq 0.05$) percentage of linoleic acid and docosapentaenoic acid, and increased TL ($P=0.06$). These results indicate that the LPD change the content of unsaturated fatty acids and increase the LT; the main effect of the CLA is to increase the TSFA and the concentration of its isomers in intramuscular fat; the ASO produces similar fatty acid profile as in the ACS.

Keywords: pigs, fatty acids profile, conjugated linoleic acid, acidulated soybean oil, low protein diets

INTRODUCCIÓN

El contenido de grasa en la carne, el tipo de ácidos grasos y la proporción de los mismos, son aspectos importantes por la repercusión que tienen en la calidad nutricional y el procesamiento de los productos cárnicos, además de la aceptación y la salud del consumidor. Mediante la manipulación de la dieta ofrecida a los animales es posible modificar la composición y cantidad de lípidos presentes en la carne. En los cerdos, la composición de ácidos grasos en el tejido adiposo y muscular cambia fácilmente en respuesta al tipo de aceite o grasa incluida en la dieta (Wiseman y Agundiade, 1998; Wood *et al.*, 2008). El ácido linoleico conjugado (ALC) es un ácido graso que interviene en el metabolismo de lípidos produciendo bajas concentraciones de ácidos grasos monoinsaturados y mayor cantidad de saturados, además de aumentar la concentración de sus isómeros en la grasa, los cuales son considerados nutraceuticos (Corino *et al.*, 2003; Lauridsen *et al.*, 2005). También existen subproductos derivados de la refinación del aceite crudo de soya como el aceite de soya acidulado (ASA), que es utilizado en la alimentación de cerdos por su bajo costo y por mantener un adecuado comportamiento productivo (Starkey *et al.*, 2002). Sin embargo, existe poca información de su efecto en la composición de ácidos grasos y en la calidad de la carne.

Además, las dietas con bajo contenido de proteína (DBP) alteran el metabolismo energético aumentando la acumulación de grasa subcutánea (Knowles *et al.*, 1998; Le Bellego *et al.*, 2001; Gómez *et al.*, 2002), incrementan la grasa intramuscular por aumento en los lípidos totales, y modifican la proporción de ácidos grasos en la carne del cerdo (Teye *et al.*, 2006) por estímulo de enzimas lipogénicas musculares (esteroil-CoA desaturasa, Acetil-CoA carboxilasa, ácido graso sintetasa) involucradas en la síntesis *de novo* de ácidos grasos saturados (Doran *et al.*, 2006).

Así, al sustituir ingredientes energéticos o reducir el contenido de nutrimentos que afectan la acumulación de lípidos, se producen cambios en el metabolismo de las grasas que se acumulan en tejido muscular del cerdo. Por tanto, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de DBP en combinación con tres fuentes de aceite, en el contenido total de lípidos y de ácidos grasos en la carne de cerdo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se efectuaron dos experimentos en la Unidad Porcina del Colegio de Postgraduados, en Tecámac, Estado de México. Los cerdos utilizados se alojaron en corrales individuales de 1.2×1.5 m, con piso de concreto, equipados con comedero tipo tolva y bebedero tipo chupón. El alimento y agua se ofrecieron *ad libitum*. La limpieza de corrales, inspección sanitaria y bienestar de los cerdos se realizó diariamente durante los experimentos.

Experimento 1

Dieciséis cerdos machos castrados (Yorkshire×Landrace) de 17.9 ± 1.8 kg de peso inicial se asignaron a cuatro tratamientos en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×2 , para evaluar dos concentraciones de proteína y dos de ácido linoleico conjugado (Cuadros 1.2, 1.3 y 1.4) con cuatro repeticiones. El modelo estadístico del diseño fue (Steel *et al.*, 1997): $Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$, donde: Y_{ijk} = variable de respuesta medida en la k-ésima repetición de la i-ésima concentración de A y i-ésima concentración de B; μ = media general; A_i = efecto del factor A (proteína) a la concentración i; B_j = efecto del factor B (tipo de aceite) a la concentración j; $(AB)_{ij}$ = efecto de la interacción del i-ésimo contenido de A y el j-ésimo contenido de B, y ϵ_{ijk} = error experimental. $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$. El periodo experimental fue de 84 d para evaluar las etapas de iniciación, crecimiento y finalización.

Experimento 2

Se utilizaron 24 cerdos machos castrados (Yorkshire×Landrace) con 19.3 ± 2.1 kg de peso inicial, los cuales se distribuyeron en un diseño completamente al azar con arreglo factorial (2×3) de tratamientos, con cuatro repeticiones, para evaluar dos concentraciones de proteína y tres fuentes de aceite (aceite crudo de soya, ácido linoleico conjugado y aceite de soya acidulado), para cubrir el requerimiento de energía en las dietas (Cuadros 3.2, 3.3 y 3.4). El modelo estadístico del diseño fue similar al del experimento 1. El periodo experimental fue de 78 d para evaluar las etapas de iniciación, crecimiento y finalización.

Toma de muestras y análisis de laboratorio

Al sacrificio de los cerdos de los experimentos 1 y 2, se obtuvieron muestras de tejido en pierna (músculo *semimembranosus*, MS) y lomo (músculo *longissimus*, ML), las cuales fueron molidas, homogenizadas y guardadas en bolsas herméticas a -20 °C hasta su análisis. El contenido total de lípidos y de ácidos grasos (omega 6 y 3, isómeros de ALC, saturados, monoinsaturados y poliinsaturados) de las muestras de tejido y de los aceites evaluados, se determinó de acuerdo al método 923.07 de la AOAC (2000) y por cromatografía de gases siguiendo el método 994.10 de la AOAC (2000). Los análisis se realizaron en el laboratorio de Nutrición Animal del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, en México D.F.

Análisis estadístico

El efecto de los factores considerados en las dietas experimentales (concentración de proteína y tipo de aceite) y su interacción, fueron evaluados con el análisis de varianza. Los datos fueron analizados usando el procedimiento GLM de SAS (2002). La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS

Experimento 1

Los resultados del contenido de ácidos grasos y total de lípidos de este experimento se presentan en los cuadros 3.2, 3.3, 3.6 y 3.7.

Músculo *semimembranosus*

El contenido de proteína en la dieta no influyó ($P > 0.05$) en el contenido de ácidos grasos y de los lípidos totales (LT) en las muestras de MS analizadas. El contenido de isómeros de ALC en MS fue mayor ($P \leq 0.05$) con la adición de 1 % de ALC. El ALC dietético incrementó ($P \leq 0.05$) los porcentajes de ácido mirístico, palmítico, y palmitoléico, y disminuyó los porcentajes de ácido oleico y linoleico ($P \leq 0.05$). El total de ácidos grasos saturados (TAGS) fue mayor, y el total de ácidos grasos monoinsaturados (TAGM) disminuyó por efecto del ALC en la dieta ($P \leq 0.05$).

Músculo *longissimus*

La reducción en la concentración de proteína disminuyó el contenido de ácido linolelaídico y aumentó el araquidónico ($P \leq 0.05$). El contenido de isómeros del ALC (c9,t11, c11,t9 y t10,c12) aumentó ($P \leq 0.05$) por efecto del ALC en la dieta. El ácido linolénico (C18:3 ω 3) fue menor ($P = 0.08$) con la DBP. El porcentaje de ácidos mirístico, palmítico, esteárico, palmitoléico y linolelaídico incrementó ($P \leq 0.05$) y el porcentaje de ácido palmitelaídico, oleico, linolénico, eicosaenoico, y cis-11,14-eicosadienoico bajó en respuesta al ALC dietético. El TAGS aumentó ($P \leq 0.05$) y el TAGM disminuyó ($P \leq 0.05$) en las dietas adicionadas con ALC. La interacción de los factores evaluados influyó ($P \leq 0.05$) en los porcentajes de los isómeros de ALC (c9,t11 y c11,t9), donde la mayor concentración de isómeros se observó en las dietas que contenían ALC, pero este incremento fue menor cuando el porcentaje de proteína en la dieta se redujo.

Experimento 2

Los resultados se presentan en los cuadros 3.4, 3.5, 3.8 y 3.9.

Músculo *semimembranosus*

Las DBP presentaron mayor ($P \leq 0.05$) contenido de isómeros de ALC (c9,t11 y c11,t9) y de ácido eicosaenoico. En el músculo de los cerdos que consumieron DBP los ácidos linolénico, eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA) presentaron menor concentración ($P \leq 0.05$). El ácido docosapentaenoico (DPA) disminuyó ($P = 0.075$) y el contenido de LT incrementó ($P = 0.062$) con las DBP. Las dietas con ALC tuvieron mayor ($P \leq 0.05$) concentración de isómeros c9,t11 y c11,t9 de ALC. El contenido de ácido eicosaenoico fue parecido en las dietas con ACS y ASA, y menor para el ALC ($P \leq 0.05$). El TAGS fue mayor en cerdos alimentados con dietas con ALC y menor con ACS ($P \leq 0.05$). La interacción afectó el porcentaje de cis10-pentadecenoico, cis10-heptadecenoico y cis-vaccénico ($P \leq 0.05$).

Músculo *longissimus*

Las DBP disminuyeron la concentración de ácido linolelaídico y linolénico ($P \leq 0.05$); el resto de ácidos grasos y los LT no cambiaron por efecto de la proteína dietética. El

ALC ($P \leq 0.05$) aumentó el porcentaje de ácido palmitoléico, mirístico, palmítico y esteárico, comparado con el ASA y el ACS. El porcentaje de ácido elaídico, linolénico, eicosaenóico, cis-8,11,14-eicatrienóico y DPA fueron menores para las dietas con ALC ($P \leq 0.05$). El TAGS fue mayor en cerdos alimentados con el ALC ($P \leq 0.05$), mientras que con ACS y ASA presentaron valores similares. Los LT fueron mayores con la dieta con ALC ($P = 0.055$). La interacción afectó el porcentaje de ácido cis10-pentadecenóico ($P \leq 0.05$) y presentó una tendencia en el porcentaje de ácido cis10-heptadecenóico ($P = 0.07$) y en los isómeros t10,c12 de ALC ($P = 0.06$).

DISCUSIÓN

La acumulación de isómeros de ALC en la grasa intramuscular de las muestras analizadas (músculo *semimembranosus* y músculo *longissimus*), encontrada en la presente investigación, ha sido reportada principalmente en ML (Eggert *et al.*, 2001; Migdal *et al.*, 2004) y la concentración está en relación al porcentaje de ALC en la dieta (Ramsay *et al.*, 2001; Joo *et al.*, 2002). Los isómeros que más se acumulan son el c9,t11 y el c11,t9, similar a lo observado en otras investigaciones (Thiel-Cooper *et al.*, 2001; Lauridsen *et al.*, 2005; Martin *et al.*, 2008b). También, puede haber mayor acumulación del isómero t10,c12 (Ramsay *et al.*, 2001), lo que puede estar en función de la proporción de isómeros presentes en el ALC incluido en la dieta.

El aumento en el TAGS y la disminución en el TAGM en la grasa intramuscular, en la presente investigación, se ha encontrado en cerdos consumiendo 1 % de ALC en la dieta en sustitución del aceite de girasol (Eggert *et al.*, 2001), aceite de maíz (Averete-Gatlin *et al.*, 2002) o aceite de soya (Wiegand *et al.*, 2002). La concentración de ALC utilizado en el experimento 2 aumentó los ácidos grasos saturados (AGS) en forma individual y total en ML, además de disminuir el porcentaje de linolénico y DPA. Una concentración de ALC (0.25 %) parecida se usó en cerdos en crecimiento causando reducción en el contenido de ácido oleico, linoleico, linolénico y araquidónico en tejido adiposo, pero en tejido muscular sólo se redujo el ácido linolénico (Ramsay *et al.*, 2001). En cambio, en ML, el ALC (0.20-1.67 %) durante la fase de crecimiento-finalización incrementa el contenido de los ácidos mirístico y palmítico, y disminuye el oleico y araquidónico (Thiel-Cooper *et al.*, 2001), lo cual puede indicar que periodos

prolongados de consumo aun a baja concentración pueden tener mayor efecto en los lípidos presentes al momento del sacrificio de los cerdos. El resultado observado en el incremento de los ácidos grasos saturados (esteárico) y disminución de insaturados (oleico) en músculos de cerdos alimentados con ALC probablemente se debe a la inhibición y regulación a la baja en la actividad de la enzima delta-9-esteroil-CoA desaturasa (Bee, 2001; Ramsay *et al.*, 2001), enzima involucrada en la síntesis de ácidos grasos monoinsaturados (Lee *et al.*, 1998), la cual disminuye su actividad en respuesta a mayor concentración de ácido linoleico, aumentando la lipogénesis y la actividad de enzimas como la Acetil-CoA-carboxilasa (Kouba y Mouro, 1997). Por ello, fue importante haber realizado el análisis de los aceites utilizados (Cuadro 3.1) y cuantificar la presencia de este ácido graso, porque con la reducción en la actividad de la delta-9-esteroil-CoA desaturasa se inhibe la síntesis endógena del ALC, favorecida por algunos precursores presentes en la dieta del cerdo como el C18:1 trans (Gläser *et al.*, 2000).

El cambio en la composición de ácidos grasos debido al ALC incrementa la relación ácidos grasos saturados: insaturados en la grasa intramuscular, lo que puede mejorar la calidad de la carne, como la capacidad de retención de agua que aumenta cuando el contenido de ácidos grasos como el linoleico es menor (Joo *et al.*, 2002). La disminución en este ácido graso se presentó en algunos casos en la presente investigación; sin embargo, esto impacta negativamente el valor nutricional de la carne (Teye *et al.*, 2006).

En el caso de LT, hubo una tendencia a incrementar la concentración en ML en el experimento 2 en la dieta con ALC; se ha encontrado que en cerdos en etapa de finalización la inclusión de 0.5 % de ALC en sustitución de aceite de girasol no influye en el contenido de grasa intramuscular (Lauridsen *et al.*, 2005), incluso a mayor concentración de ALC (2 %) no aumenta el contenido de lípidos en ML (Bee, 2001; Joo *et al.*, 2002). Pero en cerdas en finalización aumentó la grasa intramuscular (3.6 vs 2.6 %) con 1 % de ALC en la dieta; sin embargo, con 2 % el contenido es similar al obtenido con aceite de girasol (Martin *et al.*, 2008a). En cerdos alimentados con dietas con 1.25 % de ALC aumenta el marmoleo en comparación con aceite de soya (Wiegand *et al.*, 2002). La variabilidad de resultados entre investigaciones puede estar

en función del contenido de ALC en la dieta y el tiempo de consumo (Sun *et al.*, 2004). Además, la grasa intramuscular disminuye con dosis de hasta 0.83 % de ALC durante el periodo de crecimiento-finalización de cerdos (Thiel-Cooper *et al.*, 2001).

En la comparación del contenido de ácidos grasos entre el ACS y el ASA, la respuesta observada en las muestras analizadas no presentó diferencias entre las dos fuentes de energía, lo que probablemente indica que el porcentaje de inclusión de los aceites fue bajo y los ácidos grasos fueron utilizados prioritariamente para cubrir las demandas energéticas del cerdo y, por tanto, la acumulación de los ácidos grasos dietéticos no fue detectable en la grasa intramuscular. Esto a pesar de que en cerdos en crecimiento alimentados por arriba de los requerimientos de mantenimiento, una porción significativa de los ácidos grasos de la dieta son depositados en tejido adiposo, ya que el proceso de depositar los ácidos grasos dietéticos es más eficiente que el proceso de convertir los carbohidratos dietéticos a ácidos grasos en tejido adiposo (Azain, 2001).

En la presente investigación, las DBP no afectaron estadísticamente el contenido de LT en músculo; pero en el experimento 2, en MS se observó una tendencia con 27 % de incremento. Además, en MS y ML en el experimento 1 se observó 16 % más de LT en las DBP; este incremento en la grasa intramuscular (hasta 86 %) ha ocurrido en otros experimentos al reducir de 3 a 4 unidades porcentuales el contenido de proteína dietética pero sin adicionar aminoácidos sintéticos (Wood *et al.*, 2004; Teye *et al.*, 2006; Doran *et al.*, 2006). Esta mayor acumulación de lípidos en el organismo se presenta cuando se alimenta con DBP sin satisfacer los requerimientos de aminoácidos esenciales (Kerr *et al.*, 2003).

En cerdos consumiendo DBP la concentración de omega 6 y 3 es reducida (Wood *et al.*, 2004; Teye *et al.*, 2006), tal como se observó en el ácido linolénico en ML en los dos experimentos, y en el ácido linolénico, EPA, DPA y DHA en MS en el experimento 2. Otro efecto de las DBP es el aumento en los AGS y AGM (Teye *et al.*, 2006), y se plantea que una baja concentración de proteína en la dieta puede estimular la expresión de enzimas musculares lipogénicas como la esteroil-CoA desaturasa y, por tanto, se incrementa la síntesis *de novo* de ácidos grasos (Doran *et al.*, 2006). Esta inferencia es apoyada por el aumento en el contenido de la enzima ácido graso

sintetasa y la expresión de la Acetil-CoA carboxilasa, que están involucradas en la biosíntesis de ácidos grasos, que aumenta en respuesta a las DBP (Doran *et al.*, 2006). Sin embargo, en la presente investigación sólo se incrementan ácidos grasos como el eicosaenoico en MS y el araquídico en ML del experimento 1, y el mirístico, oleico, y eicosaenoico en MS del experimento 2, lo que indica que con una adecuada adición de aminoácidos dicho efecto es menor.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Reducir la proteína dietética adicionando aminoácidos sintéticos aumenta los lípidos totales y disminuye el contenido de ácidos grasos insaturados en los músculos *semimembranosus* y *longissimus* de los cerdos.

El principal efecto del ácido linoleico conjugado en la dieta de los cerdos es aumentar la concentración de ácidos grasos saturados, disminuir la de los insaturados y aumentar la concentración de sus isómeros en la grasa intramuscular.

Sustituir el aceite crudo de soya por aceite de soya acidulado en las dietas de cerdos produce un contenido similar de ácidos grasos y total de lípidos.

LITERATURA CITADA

- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis (17th Ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC. 556 p.
- Averete-Gatlin, L., M. T. See, D. K. Larick, X. Lin, and J. Odle. 2002. Conjugated linoleic acid in combination with supplemental dietary fat alters pork fat quality. *J. Nutr.* 132: 3105-3112.
- Azain, J. M. 2001. Fat in swine nutrition. *In: Swine Nutrition*. 2nd ed. Lewis, A. J., and L. L. Southern. (eds.). CRC Press, Boca Raton, FL. p. 95.
- Bee, G. 2001. Dietary conjugated linoleic acids affect tissue lipid composition but not *de novo* lipogenesis in finishing pigs. *Anim. Res.* 50: 383-399.
- Corino, C., S. Magni, G. Pastorelli, R. Rossi, and J. Mouro. 2003. Effect of conjugated linoleic acid on meat quality, lipid metabolism, and sensory characteristics of dry-cured hams from heavy pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 2219-2229.

- Doran, O., S. K. Moule, G. A. Teye, F. M. Whittington, K. G. Hallett, and J. D. Wood. 2006. A reduced protein diet induces stearoyl-CoA desaturase protein expression in pig muscle but not in subcutaneous adipose tissue: relationship with intramuscular lipid formations. *Brit. J. Nutr.* 95: 609-617.
- Eggert, J. M., M. A. Belury, A. Kempa-Steczko, S. E. Mills, and A. P. Schinckel. 2001. Effects of conjugated linoleic acid on the belly firmness and fatty acid composition of genetically lean pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 2866-2872.
- Gläser, K. R., M. R. L. Scheeder, and C. Wenk. 2000. Dietary C18:1 trans fatty acids increase conjugated linoleic acid in adipose tissue of pigs. *Europ. J. Lipid Sci.* 102 (11): 684-686.
- Gómez, R. S., A. J. Lewis, P. S. Miller, H. Y. Chen, and R. M. Diedrichsen. 2002. Body composition and tissue accretion rates of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *J. Anim. Sci.* 80: 654-662.
- Joo, S. T., J. I. Lee, Y. L. Ha, and G. B. Park. 2002. Effects of dietary conjugated linoleic acid on fatty acid composition, lipid oxidation, color, and water-holding capacity of pork loin. *J. Anim. Sci.* 80: 108-112.
- Kerr, B. J., J. T. Yen, J. A. Nienaber, and R. A. Easter. 2003. Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 1998-2007.
- Knowles, T. A., L. L. Southern, T. D. Bidner, B. J. Kerr, and K. G. Friesen. 1998. Effect of dietary fiber or fat in low-crude protein, crystalline amino acid-supplemented diets for finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 76: 2818-2832.
- Kouba, M., and J. Mourot. 1997. Effect of a high linoleic acid diet on delta-9-desaturase activity, lipogenesis and lipid composition of pig subcutaneous adipose tissue. *Reprod. Nutr. Dev.* 38: 31-37.
- Lauridsen, C., H. Mu, and P. Henckel. 2005. Influence of dietary conjugated linoleic acid (CLA) and age at slaughtering on performance, slaughter- and meat quality, lipoproteins, and tissue deposition of CLA in barrows. *Meat Sci.* 69: 393-399.

- Le Bellego, L., J. van Milgen, S. Dubois, and J. Noblet. 2001. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 1259-1271.
- Lee, K. N., M. W. Pariza, and J. M. Ntambi. 1998. Conjugated linoleic acid decreases hepatic stearoyl-CoA desaturase mRNA expression. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 248: 817-821.
- Martin, D., E. Muriel, E. González, J. Viguera, and J. Ruiz. 2008a. Effect of dietary conjugated linoleic acid and monounsaturated fatty acids on productive, carcass and meat quality traits of pigs. *Livest. Sci.*: doi:10.1016/j.livsci.2007.12.005.
- Martin, D., E. Muriel, T. Antequera, T. Pérez-Palacios, and J. Ruiz. 2008b. Fatty acid composition and oxidative susceptibility of fresh loin and liver from pigs fed conjugated linoleic acid in combination with monounsaturated fatty acids. *Food Chem.* 108: 86-96.
- Migdal, W., P. Pasciak, D. Wojtysiak, T. Barowicz, M. Pieszka, and M. Pietras. 2004. The effect of dietary CLA supplementation on meat and eating quality, and the histochemical profile of the m. *longissimus dorsi* from stress susceptible fatteners slaughtered at heavier weights. *Meat Sci.* 66: 863-870.
- Ramsay, T. G., C. M. Evock-Clover, N. C. Steele, and M. J. Azain. 2001. Dietary conjugated linoleic acid alters fatty acid composition of pig skeletal muscle and fat. *J. Anim. Sci.* 79: 2152-2161.
- SAS. 2002. The SAS System for Windows V9. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Starkey, C. W., J. D. Hancock, D. H. Kropf, C. L. Jones, K. H. Hachmeister, and J. D. Dunn. 2002a. Acidulated soapstock and restaurant grease in diets for finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 80 (2): 39 (Abstr.).
- Steel, D. R. G., J. H. Torrie, and D. A. Dickey. 1997. *Principles and Procedures of Statistics: a Biometrical Approach*. 3rd Ed. New York: McGraw-Hill. 356 p.
- Sun, D., X. Zhu, S. Qiao, S. Fan and D. Li. 2004. Effects of conjugated linoleic acid levels and feeding intervals on performance, carcass traits and fatty acid composition of finishing barrows. *Arch. Anim. Nutr.* 58 (4): 277-286.
- Teye, G. A., P. R. Sheard, F. M. Whittington, G. R. Nute, A. Stewart, and J. D. Wood. 2006. Influence of dietary oils and protein level on pork quality. 1. Effects on

- muscle fatty acid composition, carcass, meat and eating quality. *Meat Sci.* 73:157-165.
- Thiel-Cooper, R. L., F. C. Parrish, Jr., J. C. Sparks, B. R. Wiegand, and R. C. Ewan. 2001. Conjugated linoleic acid changes swine performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 79: 1821-1828.
- Wiegand, B. R., J. C. Sparks, F. C. Parrish, Jr., and D. R. Zimmerman. 2002. Duration of feeding conjugated linoleic acid influences growth performance, carcass traits, and meat quality of finishing barrows. *J. Anim. Sci.* 80: 637-643.
- Wiseman, J., and J. A. Agunbiade. 1998. The influence of changes in dietary fat and oils on fatty acid profiles of carcass fat in finishing pigs. *Livest. Prod. Sci.* 54: 217-227.
- Wood, J. D., G. R. Nute, R. I. Richardson, F. M. Whittington, O. Southwood, G. Plastow, R. Mansbridge, N. da Costa, and K. C. Chang. 2004. Effects of breed, diet, and muscle on fat deposition and eating quality in pigs. *Meat Sci.* 67: 651-667.
- Wood, J. D., M. Enser, A. V. Fisher, G. R. Nute, P. R. Sheard, R. I. Richardson, S. I. Hughes, and F. M. Whittington. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci.* 78: 343-358.

Cuadro 3.1. Contenido de ácidos grasos en los aceites incluidos en las dietas experimentales

Ácido graso, % FAME's	ASA	ALC	ACS
Palmítico (C16:0)	10.96	5.11	10.32
Palmitelaídico (C16:1)	0.10	ND	ND
Palmitoléico (C16:1)	0.15	ND	0.10
Heptadecanoico (C17:0)	0.10	ND	0.10
Estearico (C18:0)	3.29	4.26	4.16
Oleico (C18:1)	25.99	22.95	20.89
Cis-vaccénico (C18:1)	2.28	ND	0.96
Linoleico (C18:2)	43.96	0.46	54.94
Alfa-linolénico (C18:3)	9.76	ND	7.50
ALC-c9,t11 y c11,t9	ND	32.39	ND
ALC-t10,c12	ND	30.00	ND
Araquidónico (C20:4)	0.28	ND	0.32
Eicosaenoico (C20:1)	0.38	0.55	0.20
Eicosapentaenoico (C20:5)	0.34	0.66	0.34
Erúsico (C22:1)	ND	0.82	ND
Lignocérico (C24:0)	0.13	0.14	0.11
Otros ácidos grasos	2.28	2.65	0.08
Total saturados, %	14.76	9.51	15.00
Total monoinsaturados, %	28.90	24.32	22.14
Total poliinsaturados, %	54.06	63.51	62.78

ASA = aceite de soya acidulado; ALC = ácido linoleico conjugado;

ACS = aceite crudo de soya; ND= no detectado

Cuadro 3.2. Efecto de la concentración de proteína cruda y de ALC en el total de lípidos y contenido de ácidos grasos en músculo *semimembranosus* de cerdo (Exp. 1)

Ácido graso, % FAME's	PC		Tipo de aceite			Valor de P		
	Testigo	DBP	ACS	ALC	EEM	PC	Aceite	PC×Aceite
Mirístico (C14:0)	1.24	1.37	1.02b	1.59a	0.06	0.286	0.001	0.353
Cis 10-Pentanoico (C15:1)	0.65	0.89	0.78	0.76	0.14	0.426	0.949	0.909
Palmitico (C16:0)	24.11	24.68	22.92b	25.87a	6.10	0.676	0.045	0.402
Palmitelaídico (C16:1)	0.13	0.16	0.18	0.11	0.04	0.688	0.240	0.240
Palmitoléico C16:1	3.83	3.44	2.61b	4.66a	0.20	0.341	0.001	0.881
Heptadecanoico (C17:0)	0.18	0.20	0.21	0.17	0.03	0.750	0.488	0.915
Cis 10-heptadecenoico (C17:1)	0.54	0.24	0.21	0.56	0.19	0.416	0.364	0.329
Estearico (C18:0)	11.26	11.67	11.17	11.75	0.32	0.531	0.381	0.674
Elaídico (C18:1trans)	0.65	0.31	0.28	0.68	0.19	0.367	0.314	0.254
Oleico (C18:1)	34.53	36.78	39.01a	32.31b	1.10	0.325	0.010	0.755
Cis-vaccénico (C18:1)	3.54	3.34	3.37	3.51	0.12	0.423	0.590	0.590
Linolelaídico (C18:2 trans)	0.07	0.05	0.03	0.09	0.02	0.644	0.130	0.554
Linoleico (C18:2ω6)	10.17	9.71	11.22a	8.65b	0.45	0.624	0.015	0.045
ALC c9,t11 y c11,t9	0.38	0.46	0.10b	0.74a	0.07	0.595	0.001	0.993
ALC t10,c12	0.04	0.10	0.00b	0.14a	0.02	0.202	0.006	0.202
ALC otros	0.12	0.08	0.00b	0.21a	0.03	0.563	0.007	0.563
Gama-linolénico (C18:3)	0.02	0.04	0.05	0.01	0.02	0.689	0.312	0.863
Alfa-linolénico (C18:3ω3)	0.30	0.36	0.39	0.26	0.04	0.510	0.123	0.723
Araquídico (C20:0)	0.13	0.21	0.17	0.16	0.03	0.172	0.890	0.391
Eicosaenoico (C20:1)	0.43	0.64	0.60	0.47	0.06	0.086	0.271	0.549
Cis-11, 14-eisoadienoico (C20:2)	0.28	0.29	0.32	0.25	0.04	0.965	0.427	0.411
Cis-11,14,17-eicosatrienoico (C20:3)	0.03	0.07	0.02	0.07	0.02	0.288	0.264	0.863
Cis-8,11,14-eicatrienoico (C20:3)	0.19	0.19	0.24	0.14	0.03	0.969	0.129	0.876
Araquidónico (C20:4 ω6)	1.83	1.62	1.99	1.45	0.19	0.595	0.185	0.647
Eicosapentaenoico (EPA, C20:5 ω3)	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.833	0.833	0.188
Docosapentaenoico (DPA C22:5 ω3)	0.17	0.21	0.25	0.13	0.03	0.521	0.103	0.642
Docosahexaenoico (DHA, C22:6 ω3)	0.03	0.07	0.04	0.05	0.02	0.421	0.843	0.220
Otros ácidos grasos	2.32	2.07	2.63	1.76	0.23	0.601	0.085	0.901
TAGS, %	37.63	38.20	35.55b	40.28a	0.67	0.677	0.004	0.561
TAGM, %	44.50	45.83	47.06a	43.27b	0.71	0.364	0.020	0.258
TAGP, %	14.40	13.38	14.75	13.04	0.77	0.518	0.288	0.328
LT, g 100g ⁻¹	4.24	4.92	4.48	4.69	0.29	0.266	0.718	0.870

^{a,b} Medias de efecto principal con distinta literal por hilera son diferentes (P≤0.05).

* PC = proteína cruda; DBP = dieta baja en proteína; ACS = aceite crudo de soya; ALC = ácido linoleico conjugado; EEM = error estándar de la media; TAGS = total de ácidos grasos saturados; TAGM = total de ácidos grasos monoinsaturados; TAGP = total de ácidos grasos poliinsaturados; LP = lípidos totales.

Cuadro 3.3. Efecto de la concentración de proteína cruda y de ALC en el total de lípidos y contenido de ácidos grasos en músculo *longissimus* de cerdo (Exp. 1)

Ácido graso, % FAME's	PC		Tipo de aceite			Valor de P		
	Testigo	DBP	ACS	ALC	EEM	PC	Aceite	PC×Aceite
Mirístico (C14:0)	1.64	1.52	1.15b	2.01a	0.05	0.317	0.001	0.599
Cis 10-Pentanoico (C15:1)	0.37	0.33	0.39	0.31	0.06	0.783	0.531	0.315
Palmítico (C16:0)	26.45	26.12	23.82b	28.76a	0.43	0.710	0.001	0.460
Palmitelaídico (C16:1)	0.17	0.16	0.23a	0.10b	0.02	0.885	0.002	0.290
Palmitoléico C16:1	3.75	3.44	2.59b	4.59a	0.16	0.367	0.000	0.715
Heptadecanoico (C17:0)	0.25	0.21	0.21	0.25	0.02	0.361	0.283	0.933
Cis 10-heptadecenoico (C17:1)	0.22	0.21	0.22	0.21	0.02	0.760	0.715	0.951
Estearico (C18:0)	12.35	13.02	12.02b	13.35a	0.24	0.196	0.017	0.126
Elaídico (C18:1trans)	0.20	0.13	0.12	0.21	0.05	0.526	0.442	0.771
Oleico (C18:1)	36.67	37.45	41.31a	32.81b	0.54	0.477	0.000	0.790
Cis-vaccénico (C18:1)	3.38	3.04	3.17	3.25	0.08	0.683	0.609	0.404
Linolelaídico (C18:2 trans)	0.13a	0.03b	0.06	0.10	0.01	0.001	0.051	0.287
Linoleico (C18:2ω6)	8.84	8.06	9.25	7.64	0.49	0.435	0.124	0.115
ALC c9,t11 y c11,t9	0.58	0.45	0.05b	0.98a	0.05	0.217	0.000	0.039
ALC t10,c12	0.10	0.14	0.00b	0.25a	0.02	0.323	0.000	0.323
ALC otros	0.11	0.06	0.00	0.17	0.03	0.407	0.021	0.407
Gama-linolénico (C18:3)	0.02	0.06	0.02	0.07	0.02	0.278	0.164	0.919
Alfa-linolénico (C18:3ω3)	0.44	0.37	0.51a	0.30b	0.02	0.084	0.000	0.168
Araquídico (C20:0)	0.20b	0.25a	0.23	0.22	0.01	0.002	0.844	0.186
Eicosaenoico (C20:1)	0.56	0.60	0.68a	0.48b	0.01	0.194	0.001	0.094
Cis-11, 14-eisosadienoico (C20:2)	0.34	0.31	0.37a	0.28b	0.02	0.335	0.011	0.143
Cis-11,14,17-eicosatrienoico (C20:3)	0.02	0.08	0.02	0.08	0.02	0.244	0.265	0.978
Cis-8,11,14-eicatrienoico (C20:3)	0.14	0.10	0.16	0.09	0.03	0.472	0.224	0.584
Araquidónico (C20:4 ω6)	0.97	0.97	1.06	0.89	0.15	0.997	0.583	0.396
Eicosapentaenoico (EPA, C20:5 ω3)	0.00	0.01	0.00	0.01	0.07	0.337	0.337	0.337
Docosapentaenoico (DPA C22:5 ω3)	0.14	0.11	0.15	0.11	0.03	0.551	0.500	0.429
Docosahexaenoico (DHA, C22:6 ω3)	0.03	0.03	0.02	0.04	0.02	0.916	0.598	0.860
Otros ácidos grasos	1.62	2.60	2.09	2.13	0.24	0.575	0.921	0.996
TAGS, %	40.98	41.16	37.47b	44.67a	0.58	0.878	0.001	0.214
TAGM, %	45.38	45.40	48.75a	42.03b	0.50	0.982	0.001	0.815
TAGP, %	12.02	10.82	11.69	11.15	0.72	0.423	0.714	0.243
LT, g 100g ⁻¹	6.70	7.78	7.12	7.36	0.70	0.453	0.870	0.695

^{a,b} Medias de efecto principal con distinta literal por hilera son diferentes (P≤0.05).

* PC = proteína cruda; DBP = dieta baja en proteína; ACS = aceite crudo de soya; ALC = ácido linoleico conjugado; EEM = error estándar de la media; TAGS = total de ácidos grasos saturados; TAGM = total de ácidos grasos monoinsaturados; TAGP = total de ácidos grasos poliinsaturados; LP = lípidos totales.

Cuadro 3.4. Efecto de la concentración de proteína cruda y del tipo de aceite en el total de lípidos y contenido de ácidos grasos en músculo *semimembranosus* de cerdo (Exp. 2)

Ácido graso, % FAME's	PC		Aceite			EEM	Valor de P		
	Testigo	DBP	ACS	ALC	ASA		PC	Aceite	PC×Aceite
Mirístico (C14:0)	0.88	0.96	0.88	1.02	0.87	0.04	0.086	0.176	0.425
Cis 10-Pentanoico (C15:1)	0.75	1.14	0.65	1.19	1.00	0.13	0.150	0.247	0.001
Palmítico (C16:0)	21.93	22.15	21.22	23.03	21.88	0.30	0.724	0.073	0.231
Palmitelaídico (C16:1)	0.27	0.23	0.25	0.21	0.30	0.02	0.314	0.218	0.624
Palmitoléico C16:1	2.70	2.73	2.68	3.00	2.47	0.11	0.870	0.157	0.534
Heptadecanoico (C17:0)	0.34	0.27	0.27	0.31	0.32	0.03	0.265	0.829	0.899
Cis 10-heptadecenoico (C17:1)	0.41	0.32	0.30	0.34	0.45	0.04	0.205	0.270	0.001
Estearico (C18:0)	10.77	11.13	10.42	11.27	11.16	0.16	0.275	0.079	0.586
Eláidico (C18:1trans)	0.30	0.25	0.31	0.30	0.21	0.02	0.251	0.243	0.019
Oleico (C18:1)	32.78	36.26	36.12	32.60	34.83	0.96	0.086	0.338	0.572
Cis-vaccénico (C18:1)	3.51	3.22	3.11	3.47	3.51	0.16	0.364	0.527	0.116
Linolelaídico (C18:2 trans)	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.564	0.948	0.710
Linoleico (C18:2ω6)	13.30	11.31	11.88	13.29	11.74	0.76	0.207	0.662	0.376
ALC c9,t11 y c11,t9	0.15a	0.25b	0.17b	0.31a	0.13b	0.02	0.033	0.005	0.083
ALC t10,c12	0.03	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01	0.164	0.151	0.151
ALC otros	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.793	0.443	0.053
Gama-linolénico (C18:3)	0.12	0.07	0.18	0.05	0.07	0.02	0.278	0.090	0.462
Alfa-linolénico (C18:3ω3)	0.39a	0.28b	0.37	0.32	0.31	0.03	0.045	0.618	0.631
Araquídico (C20:0)	0.17	0.15	0.18	0.14	1.17	0.02	0.747	0.761	0.156
Eicosaenoico (C20:1)	0.58b	0.67a	0.67a	0.53b	0.67a	0.02	0.008	0.002	0.090
Cis-11,14-eisosadienoico (C20:2)	0.45	0.41	0.43	0.41	0.45	0.02	0.254	0.701	0.375
Cis-11,14,17-eicosatrienoico (C20:3)	0.15	0.09	0.11	0.15	0.11	0.02	0.122	0.651	0.255
Cis-8,11,14-eicatrienoico (C20:3)	0.45	0.38	0.44	0.38	0.42	0.03	0.272	0.755	0.911
Araquidónico (C20:4 ω6)	3.40	2.78	2.97	2.83	3.47	0.25	0.225	0.550	0.260
EPA, (C20:5 ω3)	0.10 ^a	0.02b	0.10	0.04	0.04	0.02	0.033	0.255	0.848
DPA (C22:5 ω3)	0.40	0.29	0.31	0.34	0.39	0.03	0.075	0.474	0.149
DHA (C22:6 ω3)	0.20 ^a	0.11b	0.15	0.16	0.15	0.02	0.044	0.942	0.757
Otros ácidos grasos	4.71	4.10	5.35	4.04	3.83	0.43	0.482	0.315	0.363
TAGS, %	34.14	34.67	33.00b	35.80a	34.44ab	0.42	0.532	0.047	0.286
TAGM, %	41.36	44.85	44.12	41.70	43.49	1.02	0.103	0.612	0.949
TAGP, %	19.77	16.36	17.51	18.45	18.24	1.09	0.135	0.934	0.481
LT, g 100g ⁻¹	2.80	3.56	3.07	3.11	3.36	0.19	0.062	0.806	0.718

^{a,b} Medias de efecto principal con distinta literal por hilera son diferentes (P≤0.05).

* PC = proteína cruda; DBP = dieta baja en proteína; ACS = aceite crudo de soya; ALC = ácido linoleico conjugado; ASA = aceite de soya acidulado; EEM = error estándar de la media; TAGS = total de ácidos grasos saturados; TAGM = total de ácidos grasos monoinsaturados; TAGP = total de ácidos grasos poliinsaturados; LP = lípidos totales.

Cuadro 3.5. Efecto de la concentración de proteína cruda y del tipo de aceite en el total de lípidos y contenido de ácidos grasos en músculo *longissimus* de cerdo (Exp. 2)

Ácido graso, % FAME's	PC		Aceite				Valor de P		
	Testigo	DBP	ACS	ALC	ASA	EEM	PC	Aceite	PC×Aceite
Mirístico (C14:0)	1.11	1.07	0.98b	1.29a	0.99b	0.03	0.525	0.001	0.371
Cis 10-Pentanoico (C15:1)	0.52	0.73	0.48	0.81	0.59	0.13	0.452	0.598	0.006
Palmítico (C16:0)	24.06	23.64	22.64b	25.95a	22.97b	0.21	0.319	0.001	0.185
Palmitelaídico (C16:1)	0.24	0.22	0.24	0.18	0.27	0.02	0.569	0.115	0.655
Palmitoléico C16:1	3.09	2.86	2.74b	3.45a	2.73b	0.08	0.184	0.003	0.284
Heptadecanoico (C17:0)	0.28	0.24	0.27	0.26	0.24	0.02	0.495	0.873	0.998
Cis 10-heptadecenoico (C17:1)	0.36	0.44	0.40	0.45	0.36	0.06	0.499	0.829	0.077
Esteárico (C18:0)	11.96	12.13	11.54b	12.84a	11.77ab	0.19	0.652	0.026	0.810
Elaídico (C18:1trans)	0.23	0.19	0.27a	0.11b	0.25a	0.02	0.398	0.007	0.160
Oleico (C18:1)	37.06	38.69	37.94	37.28	38.40	0.59	0.180	0.743	0.809
Cis-vaccénico (C18:1)	3.46	3.43	3.54	3.33	3.46	0.09	0.902	0.654	0.902
Linolelaídico (C18:2 trans)	0.08a	0.03b	0.05	0.80	0.04	0.01	0.044	0.215	0.726
Linoleico (C18:2ω6)	9.48	9.20	10.47	8.40	9.15	0.51	0.787	0.273	0.662
ALC c9,t11 y c11,t9	0.23	0.13	0.16	0.27	0.11	0.03	0.099	0.092	0.287
ALC t10,c12	0.04	0.01	0.00	0.07	0.00	0.01	0.092	0.008	0.067
ALC otros	0.01	0.05	0.05	0.03	0.01	0.01	0.094	0.431	0.279
Gama-linolénico (C18:3)	0.06	0.04	0.08	0.04	0.05	0.02	0.683	0.669	0.335
Alfa-linolénico (C18:3ω3)	0.35a	0.25b	0.35a	0.23b	0.31ab	0.02	0.004	0.017	0.964
Araquídico (C20:0)	0.21	0.16	0.19	0.17	0.20	0.02	0.176	0.825	0.525
Eicosaenoico (C20:1)	0.62	0.60	0.64ab	0.49b	0.68a	0.03	0.720	0.045	0.738
Cis-11,14-eisosadienoico (C20:2)	0.36	0.32	0.40	0.24	0.39	0.02	0.207	0.003	0.963
Cis-11,14,17-eicosatrienoico (C20:3)	0.06	0.03	0.05	0.04	0.04	0.01	0.335	0.938	0.243
Cis-8,11,14-eicatrienoico (C20:3)	0.28	0.26	0.34a	0.16b	0.31a	0.02	0.620	0.003	0.684
Araquidónico (C20:4 ω6)	1.98	2.00	2.24	1.44	2.28	0.15	0.948	0.051	0.567
EPA (C20:5 ω3)	0.07	0.03	0.08	0.02	0.05	0.01	0.177	0.267	0.994
DPA (C22:5 ω3)	0.25	0.20	0.28a	0.13b	0.26ab	0.00	0.376	0.028	0.676
DHA (C22:6 ω3)	0.10	0.08	0.13	0.03	0.11	0.02	0.560	0.938	0.529
Otros ácidos grasos	3.10	2.64	3.22	2.11	3.27	0.21	0.280	0.061	0.047
TAGS, %	37.62	37.26	35.61b	40.53a	36.18b	0.33	0.604	0.001	0.371
TAGM, %	45.60	47.19	46.28	46.14	46.77	0.65	0.234	0.916	0.824
TAGP, %	13.66	12.89	14.85	11.20	13.77	0.68	0.580	0.108	0.906
LT, g 100g ⁻¹	4.09	4.12	3.60	4.90	3.81	0.22	0.950	0.055	0.682

^{a,b} Medias de efecto principal con distinta literal por hilera son diferentes (P≤0.05).

* PC = proteína cruda; DBP = dieta baja en proteína; ACS = aceite crudo de soya; ALC = ácido linoleico conjugado; ASA = aceite de soya acidulado; EEM = error estándar de la media; TAGS = total de ácidos grasos saturados; TAGM = total de ácidos grasos monoinsaturados; TAGP = total de ácidos grasos poliinsaturados; LP = lípidos totales.

Cuadro 3.6. Efecto de la interacción PC×ALC en el total de lípidos y contenido de ácidos grasos en muestras de músculo *semimembranosus* de cerdo (Exp. 1)

PC ALC, %	Testigo	Testigo	DBP	DBP	EEM	Valor de P
	0	1	0	1		
Ácido graso, % FAME's						
Mirístico (C14:0)	1.02b	1.47ab	1.03b	1.72a	0.06	0.353
Cis 10-Pentanoico (C15:1)	0.67	0.62	0.88	0.89	0.14	0.909
Palmitico (C16:0)	23.22	25.01	22.63	26.73	6.10	0.402
Palmitelaídico (C16:1)	0.13	0.13	0.22	0.09	0.04	0.240
Palmitoléico C16:1	2.77b	4.88a	2.44b	4.43a	0.20	0.881
Heptadecanoico (C17:0)	0.20	0.16	0.22	0.17	0.03	0.915
Cis 10-heptadecenoico (C17:1)	0.18	0.91	0.24	0.22	0.19	0.329
Esteárico (C18:0)	11.11	11.41	11.24	12.09	0.32	0.674
Elaidico (C18:1trans)	0.24	1.07	0.33	0.28	0.19	0.254
Oleico (C18:1)	37.53	31.54	40.48	33.09	1.10	0.755
Cis-vaccénico (C18:1)	3.54	3.54	3.21	3.48	0.12	0.590
Linolelaídico (C18:2 trans)	0.03	0.11	0.03	0.07	0.02	0.554
Linoleico (C18:2ω6)	12.47a	7.87b	9.98ab	9.44ab	0.45	0.045
ALC c9,t11 y c11,t9	0.06c	0.70ab	0.14bc	0.78a	0.07	0.993
ALC t10,c12	0.00b	0.08ab	0.00b	0.21b	0.02	0.202
ALC otros	0.00	0.25	0.00	0.17	0.03	0.563
Gama-linolénico (C18:3)	0.05	0.00	0.06	0.02	0.02	0.863
Alfa-linolénico (C18:3ω3)	0.38	0.22	0.41	0.30	0.04	0.723
Araquídico (C20:0)	0.11	0.15	0.23	0.18	0.03	0.391
Eicosaenoico (C20:1)	0.46	0.40	0.74	0.54	0.06	0.549
Cis-11, 14-eisoadienoico (C20:2)	0.28	0.28	0.36	0.22	0.04	0.411
Cis-11,14,17-eicosatrienoico (C20:3)	0.00	0.06	0.05	0.09	0.02	0.863
Cis-8,11,14-eicatrienoico (C20:3)	0.25	0.14	0.24	0.14	0.03	0.876
Araquidónico (C20:4 ω6)	2.19	1.47	1.80	1.44	0.19	0.647
Eicosapentaenoico (EPA, C20:5 ω3)	0.03	0.00	0.00	0.02	0.01	0.188
Docosapentaenoico (DPA C22:5 ω3)	0.24	0.09	0.25	0.17	0.03	0.642
Docosahexaenoico (DHA, C22:6 ω3)	0.00	0.06	0.09	0.04	0.02	0.220
Otros ácidos grasos	2.73	1.92	2.54	1.61	0.23	0.901
TAGS, %	35.66	39.60	35.43	40.97	0.67	0.561
TAGM, %	45.55	43.45	48.56	43.10	0.71	0.258
TAGP, %	16.04	12.77	13.45	13.31	0.77	0.328
LT, g 100g ⁻¹	4.19	4.30	4.77	5.08	0.29	0.870

^{a,b,c} Medias de efecto principal con distinta literal por hilera son diferentes (P≤0.05).

* PC = proteína cruda; DBP = dieta baja en proteína; ACS = aceite crudo de soya; ALC = ácido linoleico conjugado; EEM = error estándar de la media; TAGS = total de ácidos grasos saturados; TAGM = total de ácidos grasos monoinsaturados; TAGP = total de ácidos grasos poliinsaturados; LP = lípidos totales.

Cuadro 3.7. Efecto de la interacción PC×ALC en el total de lípidos y contenido de ácidos grasos en músculo *longissimus* de cerdo (Exp. 1)

PC ALC, %	Testigo		DBP		EEM	Valor de P
	0	1	0	1		
Ácido graso, % Fame's						
Mirístico (C14:0)	1.18b	2.10a	1.12b	1.92 ^a	0.05	0.599
Cis 10-Pentanoico (C15:1)	0.34	0.39	0.44	0.23	0.06	0.315
Palmitico (C16:0)	23.65b	29.26a	23.98b	28.27 ^a	0.43	0.460
Palmitelaídico (C16:1)	0.26a	0.08b	0.21ab	0.12ab	0.02	0.290
Palmitoléico C16:1	2.81b	4.69a	2.38b	4.50 ^a	0.16	0.715
Heptadecanoico (C17:0)	0.22	0.28	0.19	0.23	0.02	0.933
Cis 10-heptadecenoico (C17:1)	0.23	0.22	0.22	0.20	0.02	0.951
Esteárico (C18:0)	11.29b	13.42a	12.75ab	13.29ab	0.24	0.126
Elaidico (C18:1trans)	0.14	0.26	0.10	0.16	0.05	0.771
Oleico (C18:1)	40.77a	32.56b	41.85a	33.06b	0.54	0.790
Cis-vaccénico (C18:1)	3.41	3.35	2.92	3.16	0.08	0.404
Linolelaídico (C18:2 trans)	0.11a	0.14a	0.00b	0.07ab	0.01	0.287
Linoleico (C18:2ω6)	10.47	7.21	8.03	8.08	0.49	0.115
ALC c9,t11 y c11,t9	0.00b	1.17a	0.10b	0.79 ^a	0.05	0.039
ALC t10,c12	0.00b	0.21a	0.00b	0.29 ^a	0.02	0.323
ALC otros	0.00	0.23	0.00	0.12	0.03	0.407
Gama-linolénico (C18:3)	0.00	0.05	0.03	0.09	0.02	0.919
Alfa-linolénico (C18:3ω3)	0.57a	0.31bc	0.45ab	0.29c	0.02	0.168
Araquídico (C20:0)	0.19b	0.21b	0.26a	0.24ab	0.01	0.186
Eicosaenoico (C20:1)	0.63a	0.49b	0.72a	0.47b	0.01	0.094
Cis-11, 14-eisoadienoico (C20:2)	0.41a	0.27b	0.33ab	0.29ab	0.02	0.143
Cis-11,14,17-eicosatrienoico (C20:3)	0.00	0.05	0.05	0.10	0.02	0.978
Cis-8,11,14-eicatrienoico (C20:3)	0.19	0.09	0.12	0.08	0.03	0.584
Araquidónico (C20:4 ω6)	1.19	0.76	0.92	1.02	0.15	0.396
Eicosapentaenoico (EPA, C20:5 ω3)	0.00	0.00	0.00	0.02	0.07	0.337
Docosapentaenoico (DPA C22:5 ω3)	0.19	0.10	0.10	0.11	0.03	0.429
Docosahexaenoico (DHA, C22:6 ω3)	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.860
Otros ácidos grasos	1.59	1.64	2.58	2.63	0.24	0.996
TAGS, %	36.61b	45.35a	38.32b	44.00a	0.58	0.214
TAGM, %	48.61a	42.14b	48.88a	41.92b	0.50	0.815
TAGP, %	13.18	10.86	10.20	11.44	0.72	0.243
LT, g 100g ⁻¹	6.30	7.01	7.95	7.62	0.70	0.695

^{a,b,c} Medias de efecto principal con distinta literal por hilera son diferentes (P≤0.05).

* PC = proteína cruda; DBP = dieta baja en proteína; ACS = aceite crudo de soya; ALC = ácido linoleico conjugado; EEM = error estándar de la media; TAGS = total de ácidos grasos saturados; TAGM = total de ácidos grasos monoinsaturados; TAGP = total de ácidos grasos poliinsaturados; LP = lípidos totales.

Cuadro 3.8. Efecto de la interacción PC×Tipo de aceite en el total de lípidos y contenido de ácidos grasos en músculo *semimembranosus* de cerdo (Exp. 2)

Ácido graso, % FAME's	Testigo			DBP			EEM	Valor de P
	ACS	ALC	ASA	ACS	ALC	ACS		
Mirístico (C14:0)	0.81	1.05	0.79	0.94	0.99	0.94	0.04	0.425
Cis 10-Pentanoico (C15:1)	0.06c	0.54abc	1.67ab	1.24abc	1.85 ^a	0.34bc	0.13	0.001
Palmitico (C16:0)	20.80	23.68	21.33	21.65	22.37	22.44	0.30	0.231
Palmitelaídico (C16:1)	0.29	0.23	0.30	0.20	0.19	0.30	0.02	0.624
Palmitoléico C16:1	2.66	3.14	2.30	2.70	2.87	2.64	0.11	0.534
Heptadecanoico (C17:0)	0.32	0.36	0.33	0.22	0.27	0.30	0.03	0.899
Cis 10-heptadecenoico (C17:1)	0.20a	0.30b	0.74a	0.40ab	0.39ab	0.16b	0.04	0.001
Esteárico (C18:0)	10.02	11.27	11.03	10.82	11.28	11.29	0.16	0.586
Elaidico (C18:1trans)	0.24ab	0.33ab	0.33ab	0.38a	0.26ab	0.09b	0.02	0.019
Oleico (C18:1)	34.95	31.74	31.66	37.03	33.46	38.01	0.96	0.572
Cis-vaccénico (C18:1)	3.70	3.22	3.61	2.52	3.73	3.40	0.16	0.116
Linolelaídico (C18:2 trans)	0.02	0.03	0.00	0.02	0.02	0.04	0.01	0.710
Linoleico (C18:2ω6)	14.35	13.14	12.41	9.40	13.44	11.07	0.76	0.376
ALC c9,t11 y c11,t9	0.07b	0.25ab	0.14ab	0.27ab	0.37	0.11	0.02	0.083
ALC t10,c12	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.151
ALC otros	0.00	0.01	0.04	0.07	0.00	0.00	0.01	0.053
Gama-linolénico (C18:3)	0.17	0.07	0.13	0.19	0.02	0.00	0.02	0.462
Alfa-linolénico (C18:3ω3)	0.46	0.38	0.33	0.28	0.26	0.28	0.03	0.631
Araquídico (C20:0)	0.14	0.12	0.25	0.21	0.15	0.10	0.02	0.156
Eicosaenoico (C20:1)	0.58bc	0.48c	0.67ab	0.76a	0.57bc	0.67ab	0.02	0.090
Cis-11, 14-eisosadienoico (C20:2)	0.47	0.39	0.49	0.40	0.42	0.40	0.02	0.375
Cis-11,14,17-eicosatrienoico (C20:3)	0.09	0.19	0.17	0.12	0.10	0.04	0.02	0.255
Cis-8,11,14-eicatrienoico (C20:3)	0.49	0.40	0.46	0.39	0.37	0.38	0.03	0.911
Araquidónico (C20:4 ω6)	3.27	2.63	4.29	2.66	3.04	2.64	0.25	0.260
Eicosapentaenoico (EPA, C20:5 ω3)	0.12	0.08	0.09	0.07	0.00	0.00	0.02	0.848
Docosapentaenoico (DPA C22:5 ω3)	0.39	0.32	0.50	0.22	0.37	0.29	0.03	0.149
Docosahexaenoico (DHA, C22:6 ω3)	0.18	0.20	0.22	0.12	0.13	0.08	0.02	0.757
Otros ácidos grasos	4.98	5.19	3.97	5.72	2.90	3.68	0.43	0.363
TAGS, %	32.15	36.49	33.78	33.86	35.09	35.08	0.42	0.286
TAGM, %	42.72	40.05	41.30	45.52	43.35	45.68	1.02	0.949
TAGP, %	20.13	18.26	20.93	14.89	18.65	15.55	1.09	0.481
LT, g 100g ⁻¹	2.77	2.87	2.75	3.37	3.35	3.96	0.19	0.718

^{a,b,c} Medias de efecto principal con distinta literal por hilera son diferentes (P≤0.05).

* PC = proteína cruda; DBP = dieta baja en proteína; ACS = aceite crudo de soya; ALC = ácido linoleico conjugado; ASA = aceite de soya acidulado; EEM = error estándar de la media; TAGS = total de ácidos grasos saturados; TAGM = total de ácidos grasos monoinsaturados; TAGP = total de ácidos grasos poliinsaturados; LP = lípidos totales.

Cuadro 3.9. Efecto de la interacción PC×Tipo de aceite en el total de lípidos y contenido de ácidos grasos en músculo *longissimus* de cerdo (Exp. 2)

Ácido graso, % FAME's	Testigo			DBP			EEM	Valor de P
	ACS	ALC	ASA	ACS	ALC	ASA		
Mirístico (C14:0)	0.96b	1.36a	0.99b	1.01b	1.23ab	0.98b	0.03	0.371
Cis 10-Pentanoico (C15:1)	0.06	0.34	1.18	0.91	1.27	0.00	0.13	0.006
Palmitico (C16:0)	22.43c	26.70a	23.07bc	22.85c	25.21ab	22.87c	0.21	0.185
Palmitelaídico (C16:1)	0.27	0.18	0.26	0.21	0.17	0.28	0.02	0.655
Palmitoléico C16:1	2.78b	3.76a	2.73b	2.70b	3.14ab	2.74b	0.08	0.284
Heptadecanoico (C17:0)	0.29	0.28	0.26	0.26	0.24	0.22	0.02	0.998
Cis 10-heptadecenoico (C17:1)	0.27	0.29	0.52	0.53	0.61	0.20	0.06	0.077
Estearico (C18:0)	11.32	12.72	11.85	11.75	12.96	11.69	0.19	0.810
Elaidico (C18:1trans)	0.23ab	0.13ab	0.32a	0.30ab	0.10b	0.19ab	0.02	0.160
Oleico (C18:1)	37.66	36.26	37.25	38.22	38.31	39.55	0.59	0.809
Cis-vaccénico (C18:1)	3.59	3.28	3.49	3.49	3.38	3.44	0.09	0.902
Linolelaídico (C18:2 trans)	0.08	0.11	0.05	0.02	0.05	0.02	0.01	0.726
Linoleico (C18:2ω6)	11.28	8.20	8.96	9.66	8.60	9.33	0.51	0.662
ALC c9,t11 y c11,t9	0.04	0.26	0.08	0.28	0.28	0.14	0.03	0.287
ALC t10,c12	0.00b	0.13a	0.00b	0.00b	0.02ab	0.00b	0.01	0.067
ALC otros	0.00	0.00	0.02	0.11	0.02	0.03	0.01	0.279
Gama-linolénico (C18:3)	0.05	0.05	0.09	0.11	0.03	0.00	0.02	0.335
Alfa-linolénico (C18:3ω3)	0.40a	0.28ab	0.36a	0.29ab	0.18b	0.26ab	0.02	0.964
Araquídico (C20:0)	0.19	0.19	0.24	0.18	0.15	0.15	0.02	0.525
Eicosaenoico (C20:1)	0.66	0.53	0.66	0.62	0.46	0.70	0.03	0.738
Cis-11, 14-eisosadienoico (C20:2)	0.42a	0.26ab	0.40ab	0.37ab	0.21b	0.37ab	0.02	0.963
Cis-11,14,17-eicosatrienoico (C20:3)	0.03	0.05	0.09	0.06	0.02	0.00	0.01	0.243
Cis-8,11,14-eicatatrienoico (C20:3)	0.33ab	0.19ab	0.32ab	0.35a	0.13b	0.29ab	0.02	0.684
Araquidónico (C20:4 ω6)	2.14	1.31	2.49	2.35	1.58	2.07	0.15	0.567
Eicosapentaenoico (EPA, C20:5 ω3)	0.10	0.04	0.07	0.06	0.00	0.03	0.01	0.994
Docosapentaenoico (DPA C22:5 ω3)	0.29	0.18	0.26	0.28	0.08	0.26	0.00	0.676
Docosahexaenoico (DHA, C22:6 ω3)	0.11	0.06	0.13	0.14	0.00	0.09	0.02	0.529
Otros ácidos grasos	3.83a	2.76ab	2.71ab	2.61ab	1.47b	3.83a	0.21	0.047
TAGS, %	35.16c	41.26a	36.43bc	36.06c	39.80ab	35.93c	0.33	0.371
TAGM, %	45.56	44.81	46.43	47.00	47.46	47.12	0.65	0.824
TAGP, %	15.39	11.16	14.42	14.32	11.24	13.11	0.68	0.906
LT, g 100 g ⁻¹	3.86	4.73	3.68	3.35	5.06	3.94	0.22	0.682

^{a,b,c} Medias de efecto principal con distinta literal por hilera son diferentes (P≤0.05).

* PC = proteína cruda; DBP = dieta baja en proteína; ACS = aceite crudo de soya; ALC = ácido linoleico conjugado; ASA = aceite de soya acidulado; EEM = error estándar de la media; TAGS = total de ácidos grasos saturados; TAGM = total de ácidos grasos monoinsaturados; TAGP = total de ácidos grasos poliinsaturados; LP = lípidos totales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

1. Conclusiones

La reducción en la concentración de proteína en cerdos en iniciación requiere ser re-evaluada ya que no se obtuvieron resultados consistentes; reducir el contenido de proteína cruda de 16 a 14.5 % en crecimiento y de 14 a 12.5 % en finalización no afecta la respuesta productiva y ni las características de la canal, además de presentar menor concentración de urea plasmática.

La adición de ácido linoleico conjugado a dietas estándar o bajas en proteína, no mejora el desempeño productivo de los cerdos.

Sustituir el aceite crudo de soya por aceite de soya acidulado en dietas para cerdos en engorda no afecta la respuesta productiva o las características de la canal.

Reducir la proteína dietética aumenta los lípidos totales y disminuye el contenido de ácidos grasos insaturados en músculos *semimembranosus* y *longissimus* en los cerdos.

El ácido linoleico conjugado en dietas para cerdos aumenta la concentración de ácidos grasos saturados, disminuye la de insaturados e incrementa la concentración de sus isómeros en la grasa intramuscular.

El aceite de soya acidulado produce un contenido de ácidos grasos y total de lípidos en la grasa intramuscular similar al aceite crudo de soya en la dieta de cerdos.

2. Recomendaciones

El empleo de dietas con baja proteína en la alimentación de cerdos, es una práctica que puede llevarse a cabo en sistemas semiintensivos e intensivos, siempre y cuando la reducción sea moderada para obtener un comportamiento productivo óptimo sin afectar las características de la canal; además de que puede ayudar a reducir el olor causado por el la excreción de compuestos nitrogenados. También es importante considerar el costo y disponibilidad de los aminoácidos sintéticos para obtener una buena relación costo: beneficio.

La adición de ácido linoleico conjugado en la dieta de cerdos debe considerarse si se puede obtener un sobreprecio al ofertar un producto que contiene agentes nutracéuticos para el consumidor, o por poseer características que mejoran el procesamiento industrial de la carne.

El aceite de soya acidulado puede remplazar al aceite crudo de soya en la alimentación de cerdos, si su costo es menor y el proveedor puede garantizar un análisis químico para considerarlo al momento de balancear las dietas y evitar deficiencia de energía.