

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

GRASA Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN CARNE DE CORDEROS PELIBUEY COMPLEMENTADOS CON ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO PROTEGIDO

RAFAEL ESPINOZA MARÍN

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2015

La presente tesis titulada: **GRASA Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN CARNE DE CORDEROS PELIBUEY COMPLEMENTADOS CON ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO PROTEGIDO**, realizada por el alumno Rafael Espinoza Marín, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, fue aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. OMAR HERNÁNDEZ MENDO

ASESOR

DR. DAVID HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

ASESOR



DRA. MARÍA ESTHER ORTEGA CERRILLA

ASESOR



DR. MAXIMINO HUERTA BRAVO

**GRASA Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN CARNE DE CORDEROS
PELIBUEY COMPLEMENTADOS CON ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO
PROTEGIDO**

**Rafael Espinoza Marín, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2015**

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el perfil de ácidos grasos y las características de la canal de carne de corderos Pelibuey complementados con diferentes niveles de ácido linoleico conjugado protegido. Se utilizaron muestras de carne tomadas del músculo *Longissimus dorsi*, entre la 12^{va} y 13^{va} costilla, provenientes de 24 corderos Pelibuey en finalización, con edad y peso inicial y final promedio de 2.3 meses, 22.3 kg y 38.6 kg, respectivamente. Los animales fueron alojados en jaulas metabólicas individuales, y distribuidos homogéneamente en cuatro grupos de seis animales cada uno, y cada grupo asignado aleatoriamente a uno de cuatro tratamientos: 1) dieta base con 0, 2) 25, 3) 50, y 4) 75 g de ácido linoleico conjugado protegido (ALCp) animal⁻¹ d⁻¹. Las variables evaluadas fueron el perfil de ácidos grasos en grasa dorsal, carne cruda y cocida, y preparada en forma de barbacoa; componentes corporales (cabeza, sangre, extremidades, piel, vísceras verdes y rojas, contenido gastrointestinal), pH de la canal (sacrificio y *post mortem*), color, resistencia al corte, actividad del agua, capacidad de retención de agua, y grosor de grasa dorsal, grasa omental, grasa mesentérica, grasa perirrenal, grasa pélvica y grasa de corazón. Se utilizó un diseño completamente al azar, utilizando el PROC GLM y la prueba de Tukey para la comparación de medias. Adicionalmente se utilizaron polinomios y contrastes ortogonales a fin de determinar comportamiento lineal, cuadrático y cúbico de los resultados, así como la diferencia entre los diferentes contrastes entre tratamientos (ALCp (g d⁻¹): 0 vs 25, 50 y 75; 25 vs 50; 0 y 25 vs 50 y 75). No se observaron diferencias significativas (P>0.05) entre tratamientos en ninguna de las variables evaluadas, excepto para algunos ácidos grasos en carne cruda, cocida, barbacoa y grasa dorsal, donde los resultados evidenciaron que los niveles de ALCp adicionados en la dieta de corderos, particularmente el tratamiento con 75 g d⁻¹ de ALC, incrementaron la concentración de los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12, en carne cruda y cocida, pero en grasa dorsal y barbacoa solamente hubo incremento lineal en el isómero *trans*-10, *cis*-12 y *cis*-9, *trans*-11, respectivamente. Los promedios para grasa dorsal, grasa omental, grasa mesentérica, grasa perirrenal, grasa pélvica, y

grasa de corazón fueron 3mm, 777g, 692g, 531g, 116g, y 58g, respectivamente. Los resultados muestran que a pesar de que el ácido linoleico conjugado incrementó los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 del ALC en carne, no disminuyó la grasa dorsal, sugiriendo que la cantidad de ALCp en la dieta de corderos no fue suficiente para ejercer efecto lipolítico.

Palabras clave: isómeros del ácido linoleico conjugado, carne, ácidos grasos.

**FAT AND FATTY ACID PROFILE IN MEAT OF PELIBUEY LAMBS FED
PROTECTED CONJUGATED LINOLEIC ACID**

Rafael Espinoza Marín, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the carcass characteristics and fatty acid profile of Pelibuey lamb meat fed with different levels of ruminal protected conjugated linoleic acid in the diet. Meat samples were taken from *Longissimus dorsi* muscle, between the 12th and 13th rib, from 24 finishing Pelibuey lambs, averaging 2.3 months age, and 22.3 and 38.6 kg, of initial and final live-weight, respectively. The animals were housed in individual metabolic cages and distributed homogeneously into four groups of six animals each, and then each group was randomly assigned to one of four treatments: 1) basal diet with 0, 2) 25, 3) 50, and 4) 75 g of protected conjugated linoleic acid (CLAp) animal⁻¹ d⁻¹. Back fat, organ weight (head, blood, limbs, skin, green and red guts, gastrointestinal content), carcass pH at slaughtering and 24 h *post mortem*, omental fat, mesenteric fat, perirenal fat, pelvic fat, heart fat, color, texture, water activity, water holding capacity, and fatty acid profile in raw and cooked meat, “barbacoa” and back fat thickness, were evaluated. Data were analyzed as a completely randomized design using PROC GLM, and the Tukey test for mean comparison. Additionally, contrasts and orthogonal polynomial were used in order to determine a linear, quadratic and cubic effect of the results, and so the difference between those contrasts (pCLA (g d⁻¹): 0 vs 25, 50 y 75; 25 vs 50; 0 y 25 vs 50 y 75). There were no significant differences (P>0.05) between treatments on any of the parameters evaluated, except on some fatty acids in raw and cooked meat, “barbacoa” and back fat. The results showed that adding pCLA to the lamb’s diet, particularly with 75g d⁻¹ of CLAp, increased the concentration of the isomers *cis*-9, *trans*-11 and *trans*-10, *cis*-12, in raw and cooked meat. Meanwhile on back fat and “barbacoa” just a linear effect was observed on the isomer *trans*-10, *cis*-12 and *cis*-9, *trans*-11, respectively. The averages of back fat, omental fat, mesenteric fat, perirenal fat, pelvic fat, heart fat, were 3.20mm, 777g, 692g, 531g, 116g and 58g, respectively. It is concluded that despite using of protected conjugated linoleic acid increased *cis*-9, *trans*-11 and *trans*-10, *cis*-12 in meat, it did not reduce back fat, which mean that the amount of CLAp used was not enough to show any lipolytic effect.

Key words: isomers of conjugated linoleic acid, meat, fatty acid.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por la beca otorgada para la realización de mis estudios de maestría.

Al **Colegio de Postgraduados**, por la oportunidad brindada para realizar los estudios de Maestría en Ciencias.

Al Dr. **Hernández Mendo Omar**, por la oportunidad otorgada para realizar esta investigación bajo su dirección, por los consejos, el empeño, y el apoyo inagotable y sobrehumano durante la realización de esta tesis.

Al Dr. **David Hernández Sánchez**, por brindarme su apoyo antes y durante los inicios de mis estudios de postgrado.

A la Dra. **María Esther Ortega Cerrilla**, por el apoyo durante la etapa intermedia en mis estudios de Maestría.

Al Dr. **Maximino Huerta Bravo**, por formar parte de mi consejo particular y por las observaciones realizadas a esta tesis.

A la Dra. **María Magdalena Crosby Galván** y a la Ing. **Elsa Margarita Crosby Galván** por su apoyo en la fase de laboratorio, así como a los Doctores **José Guadalupe Herrera Haro** y **Humberto Vaquera Huerta**, por su apoyo en los análisis estadísticos.

ATENTAMENTE

I.A.Z. Rafael Espinoza Marín

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como la oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.”

A. Einstein

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
REFERENCIAS	3
CAPÍTULO I. LA CARNE DE OVINOS COMO ALIMENTO FUNCIONAL: CASO ESPECÍFICO DEL ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO.....	6
RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
<i>Composición química y calidad de la carne</i>	<i>10</i>
<i>Lípidos y ácidos grasos</i>	<i>12</i>
<i>Enfermedades en el ser humano relacionadas al consumo de grasas</i>	<i>13</i>
<i>Ácidos grasos en la carne con propiedades benéficas: alimentos funcionales.....</i>	<i>15</i>
<i>El ácido linoleico conjugado.....</i>	<i>16</i>
<i>Efectos fisiológicos del ALC en la salud humana</i>	<i>18</i>
<i>Concentración de ácido linoleico conjugado en carne y factores que lo afectan.....</i>	<i>22</i>
CONCLUSIONES	26
REFERENCIAS	27
CAPÍTULO II. PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN CARNE DE CORDEROS PELIBUEY CPMPLEMENTADOS CON ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO PROTEGIDO	41
RESUMEN.....	41
ABSTRACT	42
INTRODUCCIÓN	43
MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
<i>Perfil de ácidos grasos de la carne</i>	<i>48</i>
<i>Grasa dorsal.....</i>	<i>48</i>
<i>Carne cruda.....</i>	<i>52</i>
<i>Carne cocida.....</i>	<i>58</i>
<i>Barbacoa</i>	<i>62</i>
CONCLUSIONES	67
REFERENCIAS	68
CAPÍTULO III. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA CARNE Y DEPÓSITOS GRASOS DE CORDEROS PELIBUEY COMPLEMENTADOS CON ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO PROTEGIDO	75
RESUMEN.....	75
ABSTRACT	76
INTRODUCCIÓN	77
MATERIALES Y MÉTODOS.....	79
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	82

<i>Proporciones corporales y pH</i>	82
<i>Características físico-químicas de la carne</i>	84
<i>Depósitos grasos</i>	87
CONCLUSIONES	90
REFERENCIAS	91
ANÁLISIS ECONÓMICO	99
REFERENCIAS	101

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO I

- Cuadro 1.** Contenido de ácidos grasos en carne de ovinos finalizados en distintos sistemas de alimentación.....11
- Cuadro 2.** Características sensoriales de la carne de ovinos y bovinos.....12

CAPÍTULO II

- Cuadro 1.** Perfil de ácidos grasos de grasa dorsal de corderos Pelibuey complementados con ácido linoleico conjugado protegido.....50
- Cuadro 2.** Perfil de ácidos grasos de carne cruda del músculo *Longissimus dorsi* de corderos Pelibuey complementados con ácido linoleico conjugado protegido.....54
- Cuadro 3.** Perfil de ácidos grasos de carne cocida del músculo *Longissimus dorsi* de corderos Pelibuey complementados con ácido linoleico conjugado protegido.....60
- Cuadro 4.** Perfil de ácidos grasos de carne en *barbacoa* de corderos Pelibuey complementados con ácido linoleico conjugado protegido.....65

CAPÍTULO III

- Cuadro 1.** Proporciones corporales y pH al sacrificio de corderos Pelibuey complementados con ácido linoleico conjugado protegido.....82
- Cuadro 2.** Características físico-químicas de la carne y pH *post mortem* de la canal de corderos Pelibuey complementados con ácido linoleico conjugado protegido.....84
- Cuadro 3.** Depósitos grasos en corderos Pelibuey complementados con ácido linoleico conjugado protegido.....88

ANÁLISIS ECONÓMICO

- Cuadro 1.** Análisis económico por animal por concepto de alimentación en corderos complementados con ácido linoleico conjugado protegido.....100

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Estructura del Ácido linoleico conjugado. A) Ácido linoleico B) Isómero *cis*-9, *trans*-11 del ALC C) Isómero *trans*-10, *cis*-12 del ALC.....16

Figura 2. Síntesis del ácido linoleico conjugado en rumiantes.....17

CAPÍTULO II

Figura 1. Contenido del isómero *trans*-10, *cis*-12 en grasa dorsal de corderos, por efecto de incluir ALCp en la dieta.....48

Figura 2. Contenido de los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 en carne cruda, por efecto de incluir ALCp en la dieta.....55

Figura 3. Contenido de los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 del ALC, por efecto de incluir ALCp en la dieta.....61

INTRODUCCIÓN GENERAL

Las enfermedades cardio-vasculares, diabetes y cáncer son las tres principales causas de muerte en el mundo, las cuales se encuentran relacionadas con el estrés y consumo de grasas saturadas, en particular las *trans*, provenientes de productos de origen animal como lácteos, carnes y derivados (Jiménez *et al.*, 2003; Manzur *et al.*, 2009). Por lo anterior, es recomendable disminuir el consumo de grasas; sin embargo, más que reducir su consumo, se sugiere cambiar a consumo de grasas insaturadas (Tolman *et al.*, 2007), aunque el consumo de estos en exceso, puede provocar la producción de radicales libres, al reaccionar con el ozono, causando daños a la salud (Pryor, 1991). Sin embargo, las grasas insaturadas nutren y aportan energía, además de diversas funciones biológicas en el organismo, con impactos benéficos en la salud humana, por lo que a los alimentos que contienen este tipo de ácidos grasos, se les denomina *alimentos funcionales* (Grashorn, 2007; Hasler y Brown, 2009). Tal es el caso de la carne de rumiantes, en especial la de ovinos, la cual contiene ácido linoleico conjugado (ALC), uno de los ácidos grasos insaturados y *trans* más importantes en la salud humana, por su potencial efecto anticancerígeno (Bellenger *et al.*, 2013; Moon, 2014) y lipolítico (Azain *et al.*, 2000; Rainer y Heiss, 2004), a pesar de ser un ácido graso *trans*. En una revisión bibliográfica, Schmid *et al.* (2006) señalan que los ovinos superan a los bovinos en concentración de ALC en carne, con promedios que van de 4.3 a 19.0 y 1.2 a 10.0 mg de ALC g⁻¹ de ácidos grasos, respectivamente. El ácido linoleico conjugado es un conjunto de al menos 24 a 28 isómeros posicionales y geométricos del ácido linoleico (Jahreis *et al.*, 1999; Banni, 2002), los cuales poseen dobles enlaces en posición conjugada, pero son los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 (Pariza *et al.*, 2001; Dhiman *et al.*, 2005) los directamente relacionados con el potencial anticancerígeno y lipolítico, respectivamente, y forman solo una pequeña parte de la fracción lipídica en la carne y productos lácteos de las especies bovina y ovina (Churruca *et al.*, 2009). Boles *et al.* (2005) y Wood *et al.* (2008) indican que el perfil de ácidos grasos en rumiantes se puede manipular a través de la dieta, adicionando ingredientes con alto contenido de ácidos grasos insaturados, como los aceites de oleaginosas o de maíz, con la desventaja que éstos son biohidrogenados en el rumen (Bauman *et al.* 2003), por lo que es necesario protegerlos en contra del proceso de biohidrogenación. En ganado Holstein (Pappritz *et al.*, 2011; Ramírez *et al.*, 2013) y ovejas lecheras (Lock *et al.*, 2006; Sinclair *et al.*, 2010), el ácido linoleico conjugado protegido (ALCp), si bien mejora el perfil de

ácidos grasos, es causante también de la reducción del contenido graso en leche, siendo esto una desventaja para la industria lechera, pero para la industria cárnica representaría un beneficio al consumidor final en términos de calidad nutricional y salud. Ante este escenario, se hipotetiza que incluir ALCp en dietas para rumiantes, podría mejorar el perfil de ácidos grasos en la carne, y eventualmente incrementar el contenido de ALC, y por tanto, disminuir el contenido graso en carne, convirtiéndolo en un *alimento funcional*. Sin embargo, Wynn *et al.* (2006) reportan que la inclusión de ALCp (25, 50, 100 g ALCp d⁻¹) en la dieta de corderos, solo incrementa las proporciones de los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 en los tejidos del músculo, pero no reduce el contenido de grasa total de la carne. Del mismo modo, Sinclair *et al.* (2010) no observaron efectos en las características de la canal, peso de los órganos y composición de la canal por acción del ALC en ovejas lecheras. Ante las inconsistencias de los pocos resultados reportados a este respecto, se evidencia la necesidad de profundizar en este campo de estudio, particularmente en ovinos, los cuales han demostrado presentar potencial para depositar ALC en tejidos (Schmid *et al.*, 2006). Adicionalmente, la carne de ovinos es altamente demandada en México, donde su consumo es básicamente en *barbacoa*. Por tanto, el objetivo de la presente investigación fue discutir los aspectos más relevantes del ácido linoleico conjugado, evaluar el perfil de ácidos grasos y el efecto lipolítico del ALC en carne y depósitos grasos de corderos Pelibuey alimentados con ácido linoleico conjugado protegido en la dieta.

REFERENCIAS

- Azain, M. J., Hausman, D. B., Sisk, M. B., Flatt, W. P., Jewell, D. E. 2000. Dietary conjugated linoleic acid reduces rat adipose tissue cell size rather than cell number. *The Journal of Nutrition*, 130(6): 1548-1554.
- Banni, S. 2002. Conjugated linoleic acid metabolism. *Current Opinion in Lipidology*, 13(3), 261-266.
- Bauman, D. E., Corl, B. A., Peterson, D. G. 2003. The biology of conjugated linoleic acids in ruminants. *Advances in Conjugated Linoleic Acid Research*, (2): 146-173.
- Bellenger, S., Bellenger, J., Ghiringhelli, F., Narce, M., Rialland, M. 2013. *Trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid induced cell death in human colon cancer cells through reactive oxygen species-mediated ER stress. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1831: 759-768.
- Boles, J. A., Kott, R. W., Hatfield, P. G., Bergman, J. W., Flynn, C. R. 2005. Supplemental safflower oil affects the fatty acid profile, including conjugated linoleic acid, of lamb. *Journal of Animal Science*, 83(9): 2175-2181.
- Churruca, I., Fernández, Q. A., Portillo, M. P. 2009. Conjugated linoleic acid isomers: differences in metabolism and biological effects. *Biofactors*, 35(1): 105-111.
- Dhiman, T. R., Nam, S. H., Ure, A. L. 2005. Factors affecting conjugated linoleic acid content in milk and meat. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(6): 463-482.
- Grashorn, M. A. 2007. Functionality of poultry meat. *The Journal of Applied Poultry Research*, 16(1): 99-106.
- Hasler, C. M., y Brown, A. C. 2009. Position of the American Dietetic Association: functional foods. *Journal of the American Dietetic Association*, 109(4): 735-746.
- Jahreis, G., Fritsche, J., Möckel, P., Schöne, F., Möller, U., Steinhart, H. 1999. The potential anticarcinogenic conjugated linoleic acid, *cis*-9, *trans*-11 C18:2, in milk of different species: cow, goat, ewe, sow, mare, woman. *Nutrition Research*, 19(10): 1541-1549.
- Jiménez C., F., Serrano, J. A., Solas M., Cofrades S., Carballo J. 2003. Physicochemical and sensory characteristics of restructured beef steak with added walnuts. *Meat Science*, 65(4): 1391–1397.

- Lock, A. L., Teles, B. M., Perfield, J. W., Bauman, D. E., Sinclair, L. A. 2006. A conjugated linoleic acid supplement containing *trans*-10, *cis*-12 reduces milk fat synthesis in lactating sheep. *Journal of Dairy Science*, 89(5): 1525-1532.
- Manzur, J., Alvear, S., Alayón, A. 2009. Consumo de ácidos grasos *trans* y riesgo cardiovascular. *Revista Colombiana de Cardiología*, 16(3): 103-111.
- Pappritz, J., Meyer, U., Kramer, R., Weber, E. M., Jahreis, G., Rehage, J., Flachowsky, G., Dänicke, S. 2011. Effects of long-term supplementation of dairy cow diets with rumen-protected conjugated linoleic acids (CLA) on performance, metabolic parameters and fatty acid profile in milk fat. *Archives of Animal Nutrition*, 65(2): 89-107.
- Pariza, M. W., Park, Y., Cook, M. E. 2001. The biologically active isomers of conjugated linoleic acid. *Progress in Lipid Research*, 40(4): 283-298.
- Pryor, W. A. 1991. Can vitamin E protect humans against the pathological effects of ozone in smog?. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 53(3): 702-722.
- Rainer, L., y Heiss, C. J. 2004. Conjugated linoleic acid: health implications and effects on body composition. *Journal of the American Dietetic Association*, 104(6): 963-968.
- Ramírez, M. M., Hernández, M. O., Ramírez, B. E. J., Améndola, M. R. D., Crosby, G. M. M., Burgueño, F. J. A. 2013. Effect of vitamin E on milk composition of grazing dairy cows supplemented with microencapsulated conjugated linoleic acid. *Tropical Animal Health and Production*, 45(8): 1783-1788.
- Schmid, A., Collomb, M., Sieber, R., Bee, G. 2006. Conjugated linoleic acid in meat and meat products: A review. *Meat Science*, 73(1): 29-41.
- Sinclair, L. A., Weerasinghe, W. M., Wilkinson, R. G., de Veth, M. J., Bauman, D. E. 2010. A supplement containing *trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid reduces milk fat yield but does not alter organ weight or body fat deposition in lactating ewes. *The Journal of Nutrition*, 140(11): 1949-1955.
- Tolman, K. G., Fonseca, V., Dalpiaz, A., Tan, M. H. 2007. Spectrum of liver disease in type 2 diabetes and management of patients with diabetes and liver disease. *Diabetes Care*, 30(3): 734-743.
- Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I., Hughes S. I., Whittington, F. M. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, 78(4): 343-358.

Wynn, R. J., Daniel, Z. C. T. R., Flux, C. L., Craigon, J., Salter, A. M., Buttery, P. J. 2006.
Effect of feeding rumen-protected conjugated linoleic acid on carcass characteristics and
fatty acid composition of sheep tissues. *Journal of Animal Science*, 84(12): 3440-3450.

CAPÍTULO I

LA CARNE DE OVINOS COMO ALIMENTO FUNCIONAL: CASO ESPECÍFICO DEL ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO

Rafael Espinoza Marín, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

Debido a que el patrón de consumo de alimentos de la población a nivel mundial ha cambiado en años recientes, se ha buscado mejorar la calidad e inocuidad de los mismos, situación que ha llevado a la generación de los *alimentos funcionales*, con los cuales se pretende reducir el factor de riesgo de enfermedades, ya que dichos alimentos, además de nutrir, se les caracteriza por cumplir otras funciones biológicas en el organismo, por el contenido de componentes específicos que cumplen dichas funciones. Entre ellos se encuentra el ácido linoleico conjugado (ALC), al cual se le atribuye potencial anticancerígeno y lipolítico, principalmente, y se encuentra normalmente en leche y carne de rumiantes. Los estudios al respecto se han desarrollado en modelos-animales, aunque hay reportes en seres humanos, donde evidencian beneficios del ALC relacionados con efecto anticancerígeno, lipolítico, cardio-protector, anti-inflamatorio. Otros estudios reportan que el ALC mejora la sensibilidad a la insulina, actúa como inmuno-modulador y anti-oxidante, aunque ello no está suficientemente documentado. Los diversos autores enfatizan que del conjunto de isómeros que conforman el ALC, el *cis-9, trans-11* y *trans-10, cis-12*, son los realmente involucrados en tales funciones biológicas. Por tanto, el objetivo de esta revisión bibliográfica es discutir y analizar información relevante respecto al ALC, particularmente en carne de ovinos, refiriéndola como alimento funcional.

Palabras clave: Alimentos funcionales, ácido linoleico conjugado, carne, ovinos.

SHEEP MEAT AS FUNCTIONAL FOOD: THE SPECIFIC CASE OF CONJUGATED LINOLEIC ACID

Rafael Espinoza Marín, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

Due to the change of global food consumption pattern in recent years, it has been necessary to improve food quality and safety, which has led to the generation of foods called as *functional foods*. The consumption of this kind of foods pretends to reduce diseases in human beings, since such foods are involved into different biological functions, because of their content of specific chemical compounds, besides their nutritional value. Conjugated linoleic acid (CLA) is among these compounds, it has anticancer and lipolytic potential, and is usually found in ruminant milk and meat. To this respect, most of the research on CLA has been carried out basically with animal-models, and some with human beings, where CLA has showed its potential as anticancer protector and its lipolytic, cardio-protective and anti-inflammatory effect. It also improves insulin sensitivity and has immuno-modulator and anti-oxidant properties. It has been emphasized that of all the isomers of CLA, the *cis*-9, *trans*-11 and *trans*-10, *cis*-12, are actually the ones involved in these biological functions. Therefore, the aim of this literature review is to discuss all the relevant information related to CLA, particularly to sheep meat, which is considered as functional food.

Keywords: Functional foods, conjugated linoleic acid, meat, sheep.

INTRODUCCIÓN

La función de los alimentos es cubrir las necesidades nutricionales del ser humano, donde la carne juega un papel importante como componente integral en la dieta, dado que es fuente de proteínas con alto valor biológico, ácidos grasos esenciales, vitaminas liposolubles y minerales; todos ellos con efectos biológicos benéficos en la salud humana (Biswas *et al.*, 2010). Sin embargo, determinados hábitos de vida en la sociedad actual, como el estrés y la mala alimentación, favorecen la incidencia de enfermedades cardiovasculares, cancerígenas y diabetes (Jiménez *et al.*, 2003), siendo las cardiovasculares la principal causa de muerte en el mundo (Go *et al.*, 2013). Algunos autores (Chan *et al.*, 2011; Pan *et al.*, 2012; Forouhi *et al.*, 2014) atribuyen tales enfermedades al consumo excesivo de grasas saturadas provenientes de alimentos de origen animal, y en particular aquellos ácidos grasos (AG) con isomería *trans* (Mozaffarian *et al.*, 2006; Manzur *et al.*, 2009). Esto ha generado una serie de recomendaciones dietéticas para reducir, aumentar, o modificar el consumo de ciertos alimentos y de sus componentes, dentro del contexto de la estrategia contra el sobrepeso y la obesidad incluida en el Acuerdo Nacional para la Salud Alimentaria (Barquera *et al.*, 2010). Al respecto, Pan *et al.* (2012) estiman que un consumo de 42 g d⁻¹ de carne roja disminuiría el número de muertes relacionadas al consumo de las mismas. Sin embargo, más que disminuir el consumo de grasas, se recomienda reemplazar las grasas saturadas por insaturadas, así como impulsar el consumo de otros alimentos fortificados nutricionalmente (Jiménez *et al.*, 2003; Tolman *et al.*, 2007). En este contexto, surgen los *alimentos funcionales*, de los cuales no existe una definición universal exacta, pero Arihara (2006), Grashorn (2007), y Hasler y Brown (2009) coinciden en que los *alimentos funcionales* son aquellos que han sido enriquecidos con ingredientes sencillos y que influyen favorablemente en una o más funciones específicas en el organismo del consumidor, causando efectos benéficos más allá de los que conllevan una alimentación adecuada. Biswas *et al.* (2010) reportan que los *alimentos funcionales*, en el caso de la carne, son producidos generalmente por reformulación de la misma, es decir, mediante la incorporación de ingredientes como fibras, proteínas, antioxidantes y ácidos grasos poli-insaturados. En el caso de estos últimos, el ácido linoleico conjugado (ALC) se presenta como uno de los más importantes por su potencial efecto anticancerígeno (Ke *et al.*, 2010; Bellenger *et al.*, 2013; Moon, 2014) y básicamente lipolítico (Azain *et al.*, 2000; Rainer y Heiss, 2004), que poco se han estudiado en humanos, pero han sido

ampliamente reportados en modelos-animales. En una revisión bibliográfica, Clément *et al.* (2002) señalan que el ALC inhibe la aterosclerosis y tumores malignos en piel, estómago, glándula mamaria y colon de ratas y ratones. Además, disminuye la grasa corporal en ratones (Kritchevsky, 2000). También se ha reportado que el ALC en ganado Holstein (Pappritz *et al.*, 2011; Ramírez *et al.*, 2013), disminuye el contenido de grasa total en leche, efecto atribuido al isómero *trans*-10, *cis*-12, situación que también sucede en ovejas lecheras (Lock *et al.*, 2006; Sinclair *et al.*, 2010), pero no afecta la deposición de grasa en los órganos. Distinto a lo que sucede en ganado lechero con la inclusión de ALC en la dieta, en bovinos (Gillis *et al.*, 2004; Gillis *et al.*, 2007) y ovinos (Wynn *et al.*, 2006), no se han encontrado efectos lipolíticos, pero sí se han identificado ambos isómeros en la carne. A este respecto, Alfaia *et al.* (2010), señalan que la principal fuente de ácido linoleico conjugado proviene de alimentos de origen animal, en especial de rumiantes (Chin *et al.*, 1992). En un artículo de revisión bibliográfica Schmid *et al.* (2006) señalan que la carne ovina supera la de ganado bovino en términos de concentración de ALC, con promedios que van de 4.3 a 19.0 y 1.2 a 10.0 mg de ALC g⁻¹ de ácidos grasos, respectivamente. Las características conferidas al ácido linoleico conjugado en términos de salud, ha generado interés en la investigación, por lo que el objetivo de esta revisión es discutir y analizar información relevante y actualizada respecto al ALC y su papel en la carne como *alimento funcional*, y además pretende despertar el interés de los lectores, no solo aquellos involucrados en la academia e investigación, sino en la sociedad en general, ya que los *alimentos funcionales* hoy día son una necesidad.

Composición química y calidad de la carne

La carne es una importante fuente de proteínas, vitaminas del complejo B, minerales, calcio, hierro, fósforo y zinc (Hui *et al.*, 2006). En el caso particular de la carne de ovino, se ha reportado que es alta en ácidos grasos saturados (AGS) (45% del total de AG) y monoinsaturados (45% del total de AG), y baja en ácidos grasos poli-insaturados (10% del total de AG) (Mamani y Gallo, 2013). El contenido de fosfolípidos en músculo de ovinos es constante (0.55%), según Bas y Sauvant (2001). Sin embargo, el alto contenido de AGS, representa una desventaja en la dieta humana, debido a que a estos se le relaciona con enfermedades cardiovasculares y obesidad (Sinclair *et al.*, 2005). Afortunadamente se ha demostrado que la composición de ácidos grasos de la carne puede ser modificada por factores como edad, genética animal y alimentación (De Smet *et al.*, 2004; Alfaia *et al.*, 2006; Esperanza *et al.*, 2009). Éste último factor influye de manera tal, que corderos finalizados exclusivamente a base de forrajes, tienden a producir mayor cantidad (31 mg 100g músculo⁻¹) de ácido linoleico conjugado, que corderos alimentados a base de alimento concentrado (7 mg 100g músculo⁻¹), debido a la alta concentración de ácido linoleico (Díaz *et al.*, 2005). Así mismo, Santos *et al.* (2002) reportan que la grasa de corderos criados en pastizales presenta un mejor contenido de ácidos grasos poli-insaturados, en especial de ácido linolénico y ALC, comparado con corderos finalizados con alimento concentrado (Cuadro 1).

De todos los componentes químicos de la carne, las grasas y proteínas, además de nutrir, juegan un papel importante en la calidad organoléptica. La FAO (2004) define calidad como una característica compleja de los alimentos, que determina su valor o aceptabilidad para los consumidores. En este sentido, para el consumidor final, la calidad de la carne se relaciona con las características propias que percibe en la misma, tales como textura, color, sabor y jugosidad. Sensorialmente, los catadores valoran la carne madura, relacionándola con terneza y jugosidad conforme avanza la maduración hasta el día 8 (Bianchi *et al.*, 2014). Al respecto, Jerez (2005) y Muchnik (2006) reportan cuatro tipos de calidad: organoléptica (sensorial), nutricional, higiénica-sanitaria y simbólica, esta última relacionada al valor cultural e identitario. La calidad higiénico-sanitario está relacionada a la higiene durante todo el proceso de la cadena productiva, la cual debe asegurar que la carne consumida no presente riesgo para la salud humana (Canizal y Rivera, 2007). La calidad nutricional se encuentra relacionada al contenido de proteínas,

carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales (Jerez, 2005). La calidad organoléptica o sensorial es atribuida a propiedades como el color, olor, ternura, jugosidad, sabor y aroma, las cuales pueden ser percibidas por los sentidos humanos, y son clave en la preferencia y aceptabilidad durante el proceso de compra o durante el consumo (De León, 2005; Bianchi *et al.*, 2008).

Cuadro 1. Contenido de ácidos grasos en carne de ovinos finalizados en distintos sistemas de alimentación.

Ácidos grasos, mg 100 g ⁻¹ de músculo	Sistema 1*	Sistema 2**	Sistema 3***	P
Saturados				
Mirístico (C14:0)	3.50 ^a	2.50 ^b	3.30 ^a	† † †
Palmítico (C16:0)	18.20 ^b	20.20 ^a	18.70 ^b	† † †
Heptadecanoico (C17:0)	0.95 ^{ab}	1.00 ^a	0.89 ^b	†
Esteárico (C18:0)	14.5	14.4	14.2	Ns
Monoinsaturados				
Palmitoleico (C16:1)	1.24 ^b	1.48 ^a	1.23 ^b	† † †
Oleico (C18:1n-9 ^{cis})	29.40 ^b	32.40 ^b	30.40 ^a	† †
Elaídico (C18:1n-9 ^{trans})	3.34 ^a	2.87 ^b	3.16 ^{ab}	<0.10
Poli-Insaturados				
Linoleico (C18:2n-6 ^{cis})	5.86	6.41	6.19	Ns
Linolénico (C18:3n-3)	1.69 ^a	0.51 ^c	1.30 ^b	† † †
Araquidónico (C20:4n-6)	2.63	2.67	2.62	Ns
CLA Total	0.71 ^a	0.32 ^c	0.58 ^b	† † †

Fuente: Santos *et al.* (2002).

*Alimentación a base de forrajes, **Alimentación a base de concentrados, ***Pastoreo + alimento concentrado.

^{abc} Medias con distinta literal en la misma fila indican diferencias (P<0.05).

† † † P<0.0001, † † P<0.001, † P<0.05.

Bianchi *et al.* (2006; 2014) y Franco *et al.* (2008; 2013) reportaron pruebas sensoriales descriptivas, en ganado ovino y bovino, empleando catadores, quienes midieron el grado de satisfacción y aceptación subjetiva de la carne en una escala de 1 a 10 puntos, siendo 1 carne muy dura, muy desabrida o muy desagradable; y 10, carne muy tierna, muy sabrosa o muy agradable (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características sensoriales de la carne de ovinos y bovinos.

Atributos	Especie Animal			
	¹ Ovinos	² Ovinos	³ Bovinos	⁴ Bovinos
Terneza	6.5	7.1	5.7	7.3
Calidad del sabor	-	7.0	6.3	8.2
Aroma y sabor	6.1	-	-	-
Aceptabilidad	4	7.1	6.3	8.8

¹Bianchi *et al.* (2014); ²Bianchi *et al.* (2006); ³Franco *et al.* (2008); ⁴Franco *et al.* (2013)

En tal estudio, los catadores catalogaron sensorialmente la carne de ovinos a los 8 días de maduración, señalándola como tierna y jugosa. En el caso de los bovinos, Franco *et al.* (2008) reportan que la terneza en la carne del músculo *Longissimus dorsi* mejora a los 7 días de maduración, aunque, la calidad sensorial de la carne continúa mejorando hasta los 21 días de almacenamiento. Por su lado, Franco *et al.* (2013) evaluaron la calidad sensorial de la carne de bovinos a los 3 y 7 días de almacenamiento, no observando diferencias en la terneza de la carne a dichos días de maduración. Lo anterior sugiere, que, tanto la carne de ovinos como la de bovinos alcanzan un grado aceptable por los catadores en términos de jugosidad y terneza entre los días 7 y 8 de maduración. Sin embargo en el caso de los bovinos estas cualidades sensoriales de la carne siguen incrementándose conforme el tiempo de maduración avanza hasta el día 21.

Lípidos y ácidos grasos

Los lípidos son grupos muy diversos de compuestos orgánicos presentes en tejido animal y vegetal, son insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos como éter, hexano, benceno, tolueno, y trifluoruro de boro (McDonald *et al.*, 2006). El conjunto de lípidos presentes en los alimentos consumidos, reciben normalmente el nombre de grasa de la dieta y sirven como fuente de energía, tanto en forma directa como cuando se almacenan en tejido adiposo (Morand-Fehr y Tran, 2001). Además, los lípidos participan en diversas funciones orgánicas como estructura de membranas y hormonal (German, 2011), material aislante en tejido subcutáneo y alrededor de ciertos órganos (Ortega *et al.*, 2015). Los lípidos más importantes en la alimentación de rumiantes son aquellos que contienen ácidos grasos unidos a glicerol, por ejemplo, los triglicéridos, glicolípidos, y fosfolípidos, de los cuales, los fosfolípidos son componentes químicos esenciales en la carne y se encuentran en membranas celulares, lugar de mayor

deposición de los ácidos grasos poli-insaturados (Morand-Fehr y Tran, 2001; Marín *et al.*, 2010). Los triglicéridos son conocidos como grasas, y son agrupados en aceites y grasas. Éstas últimas son sólidas a temperatura ambiente, contienen ácidos grasos saturados y provienen de origen animal, como la manteca y el sebo (Morand-Fehr y Tran, 2001). Los aceites son líquidos a temperatura ambiente, y generalmente están formados por ácidos grasos con menos de 10 carbonos o con uno o más enlaces dobles, y son normalmente de origen vegetal (Castañeda y Peñuela, 2010).

Los ácidos grasos son los más sencillos y principales componentes de los lípidos (Valenzuela *et al.*, 2009), son integrados en la dieta humana a través de productos de origen animal (Rodríguez *et al.*, 2005), y se les ha relacionado con factores de riesgo para la salud, y de aquí la importancia de conocer su concentración en la carne. Los ácidos grasos saturados se clasifican en base al número de carbonos (C) en la cadena, donde los de cadena corta son de 2 a 6 átomos de C, los de mediana son de 8 a 12 C, y los de larga son de 14 a 24 C, aspecto de importancia, ya que la longitud de la cadena define el destino del ácido graso (Marín *et al.*, 2010). Por ejemplo, los ácidos grasos cortos y medianos son oxidados rápidamente a CO₂, razón por la cual, no son depositados como triglicéridos o fosfolípidos en los tejidos. Mientras que los de cadena mediana y larga se depositan fácilmente en tejidos, formando parte de fosfolípidos. Por otro lado, los ácidos grasos insaturados no pueden ser sintetizados por el ser humano, por ello son considerados ácidos grasos esenciales, y es importante obtenerlos de la dieta, tal es el caso de los ácidos linoleico y alfa linolénico, pertenecientes a la familia omega (ω) (n6 y n3) (Rodríguez *et al.*, 2005). La presencia de dobles ligaduras (carbono: carbono) en los ácidos grasos insaturados afecta la velocidad a la que son oxidados, ya que actúan como aceptores de radicales libres (O⁻), y por tanto, son oxidados más rápidamente que los ácidos grasos saturados (Bou *et al.*, 2001).

Enfermedades en el ser humano relacionadas al consumo de grasas

El consumo de grasas saturadas favorece la síntesis de lipoproteínas de baja densidad, y eleva los niveles de colesterol sérico, causando hipercolesterolemia. En contraste, el colesterol ligado a lipoproteínas de alta densidad se relaciona inversamente con el riesgo de presentar enfermedades cardiovasculares (O'Donnell y Elosua, 2008). Algunos autores (Cross *et al.*, 2007;

Kontogianni *et al.*, 2008; Ferguson, 2010) asocian el consumo de carnes rojas y el estilo de vida de los seres humanos, con una alta incidencia de problemas de obesidad, diabetes mellitus y enfermedad de tipo cardiovascular. La obesidad y el sobrepeso conllevan a un mayor riesgo de mortalidad, así como al desarrollo de múltiples padecimientos, tales como enfermedad coronaria, cáncer y diabetes mellitus. El 80% de los casos de diabetes mellitus tipo 2 se encuentran relacionados al sobrepeso y obesidad, en particular a la obesidad abdominal (Sánchez *et al.*, 2004). La diabetes mellitus es un trastorno metabólico caracterizado por hiperglucemia, causado por un defecto en la acción o secreción de la insulina, resultando en síntomas como poliuria, polidipsia, pérdida de peso, polifagia y cambios visuales, además aumenta la incidencia de aterosclerosis, enfermedad cerebro-vascular, enfermedad arterial periférica y enfermedades cardiovasculares (Suplicy y Fiorin, 2012). Es pertinente mencionar que la insulina cumple diversas funciones, como estimular la captación de glucosa, la captación y almacenamiento de grasas, la síntesis e inhibición de degradación de proteínas, así como la síntesis de glucógeno e inhibición de su degradación, y ejerce efecto sobre la expresión génica y el recambio del ARNm, principalmente (Mendivil y Sierra, 2005).

La relación entre el consumo de carne y las enfermedades antes mencionadas, es atribuida básicamente al alto contenido de grasas saturadas y en específico a los ácidos grasos *trans*. A este respecto, Pan *et al.* (2012) y Micha *et al.* (2012) encontraron relación entre el consumo de carne roja, enfermedades del corazón y diabetes mellitus, sugiriendo que el consumo de carne roja no es benéfico para la salud cardio-metabólica, debido al alto contenido de ácidos grasos saturados. Los ácidos grasos saturados y en específico aquellos con isomería *trans*, además del valor calórico que contienen, actúan en el organismo disminuyendo las lipoproteínas de alta densidad, elevando las lipoproteínas de baja densidad, la lipoproteína (a) y los triglicéridos, causando un desequilibrio de las prostaglandinas y resistencia a la insulina (Martínez *et al.*, 2010). Por ello, la FAO (2010) y OMS (2012) recomendaron disminuir el consumo de grasas saturadas o en su caso sustituirlo por hidratos de carbono complejos o por grasas insaturadas, manteniendo el consumo de grasas saturadas y grasas *trans* en menos de 10% y 1%, respectivamente, de la ingesta calórica (Carrillo *et al.*, 2011).

Ácidos grasos en la carne con propiedades benéficas: *alimentos funcionales*

Los llamados *alimentos funcionales* son de especial relevancia por su contenido de nutrientes y su potencial efecto benéfico en la salud humana (Arihara, 2006), y se ha definido como aquel alimento que más allá de su valor nutricional, tiene un efecto benéfico sobre una o más funciones biológicas específicas en el organismo, de manera tal, que mejora el estado de salud, reduciendo el riesgo de alguna enfermedad (Arihara, 2004; Hasler *et al.*, 2004; Arihara y Ohata, 2008). Al respecto, Fernández *et al.* (2005) y Jiménez *et al.* (2006) indican que un *alimento funcional* puede ser natural, o bien, convertido a funcional a través de diferentes estrategias de alimentación y nutrición animal. En este mismo contexto existe otro grupo de alimentos al cual se le ha atribuido funciones benéficas para la salud, los *nutracéuticos*, los cuales son definidos como cualquier alimento o parte de uno, que provee beneficios médicos para la salud, o bien, pueden definirse como un producto aislado o purificado a partir de los alimentos, y que se venden en formas no asociadas con los alimentos, y que además han demostrado tener un beneficio fisiológico contra las enfermedades crónicas, tales productos pueden variar desde un nutriente, suplementos dietéticos, dietas especializadas, hasta alimentos genéticamente modificados (Subbiah, 2008). Aunque algunas veces los conceptos de *alimento funcional* y *nutracéutico* se usan indistintamente, es necesario marcar la diferencia entre ellos.

La carne de rumiantes además de ser fuente de nutrientes con elevado valor sensorial, es fuente de componentes funcionales para el ser humano (Sánchez, 2005), tal es el caso de los ácidos grasos poli-insaturados, específicamente los ácidos eicosapentanoico (EPA), docohexaenoico (DHA), y el ácido linoleico conjugado (ALC) (Wyness *et al.*, 2011; Khan *et al.*, 2011; McNeill y Van Elswyk, 2012). Los dos primeros, al formar parte de fosfolípidos, ejercen funciones biológicas y nutricionales, actuando como anti-inflamatorios y antioxidantes, mejoran el aprendizaje y la memoria, reducen lípidos plasmáticos y disminuyen la ganancia de peso (Shirouchi *et al.*, 2007). El ALC fue descubierto en carne molida desde hace un par de décadas, por Pariza y Ha (1990), como un componente con propiedades funcionales, dado su potencial anticancerígeno. El ALC se encuentra de forma natural en algunos alimentos, principalmente en lácteos y carne de bovinos y ovinos (Månsson, 2008; Moon *et al.*, 2008). A partir de los estudios de Pariza y Ha (1990), subsecuentes estudios con ALC, demostraron resultados prometedores acerca de su papel en la pérdida de peso y en la modulación de la composición corporal (Álvarez

et al., 2006), efectos anti-mutagénicos, antioxidantes y anticancerígenos (Crumb y Vatter, 2011). Este panorama apunta al ALC como uno de los principales ácidos grasos con mayor actividad funcional.

El ácido linoleico conjugado

El término ácido linoleico conjugado (ALC) hace referencia a un conjunto de al menos 24 a 28 isómeros geométricos y posicionales del ácido linoleico, los cuales poseen enlaces dobles en posición conjugada (Jahreis *et al.*, 1999; Banni, 2002). De estos isómeros, solamente dos resaltan por su potencial efecto benéfico para la salud, el *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 (Figura 1) (Pariza *et al.*, 2001; Dhiman *et al.*, 2005; Soto *et al.*, 2011).

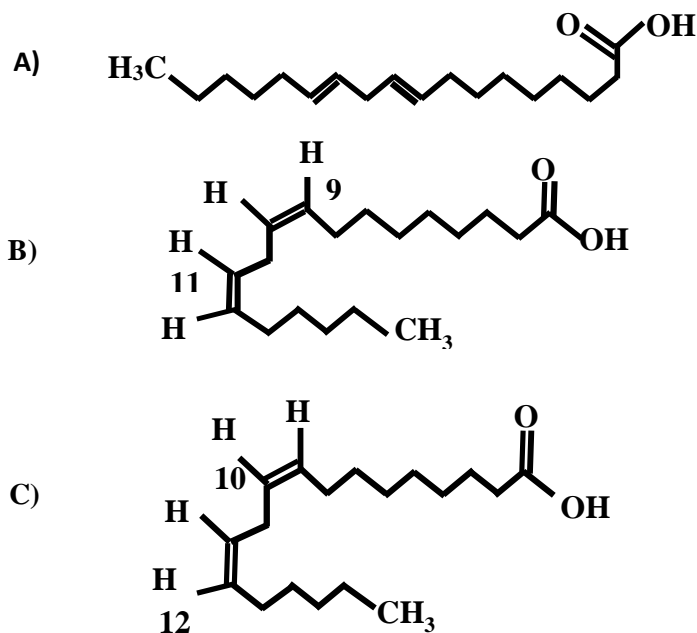


Figura 1. Estructura del Ácido linoleico conjugado. A) Ácido linoleico B) Isómero *cis*-9, *trans*-11 del ALC C) Isómero *trans*-10, *cis*-12 del ALC. (Adaptado de Khanal, & Dhiman, 2004).

La síntesis de estos isómeros en rumiantes ocurre después de la ingesta de los alimentos (Figura 2). Una vez en rumen, los lípidos de la dieta son hidrolizados en los enlaces ésteres, formando glicerol y ácidos grasos libres, y en menor cantidad monoglicéridos y diglicéridos. La

hidrolisis ocurre por acción de unas enzimas extracelulares llamadas lipasas microbianas (Buccioni *et al.*, 2012). Enseguida se lleva a cabo una isomerización del enlace *cis*-12 a *trans*-11, donde interviene la linoleato isomerasa, enzima capaz de formar dobles ligaduras conjugadas a partir de la estructura del ácido linoleico y linolénico, y como resultado, se obtienen proporciones variables de los isómeros *cis*-9, *trans*-11, *trans*-9, *cis*-12, y *trans*-10, *cis*-12, de los cuales el *cis*-9, *trans*-11, denominado ácido ruménico por su origen ruminal, corresponde al 11 % del total de ácidos grasos producidos en rumen. Posteriormente, el ácido ruménico se degrada a ácido vaccénico (C18:1 *trans*-11), por efecto del proceso de hidrogenación del enlace *cis*-9, y dada la lentitud de esta fase, se acumula ácido vaccénico, ocasionando que una gran parte de éste escape del rumen y esté disponible para absorción intestinal (Valenzuela *et al.*, 2009).

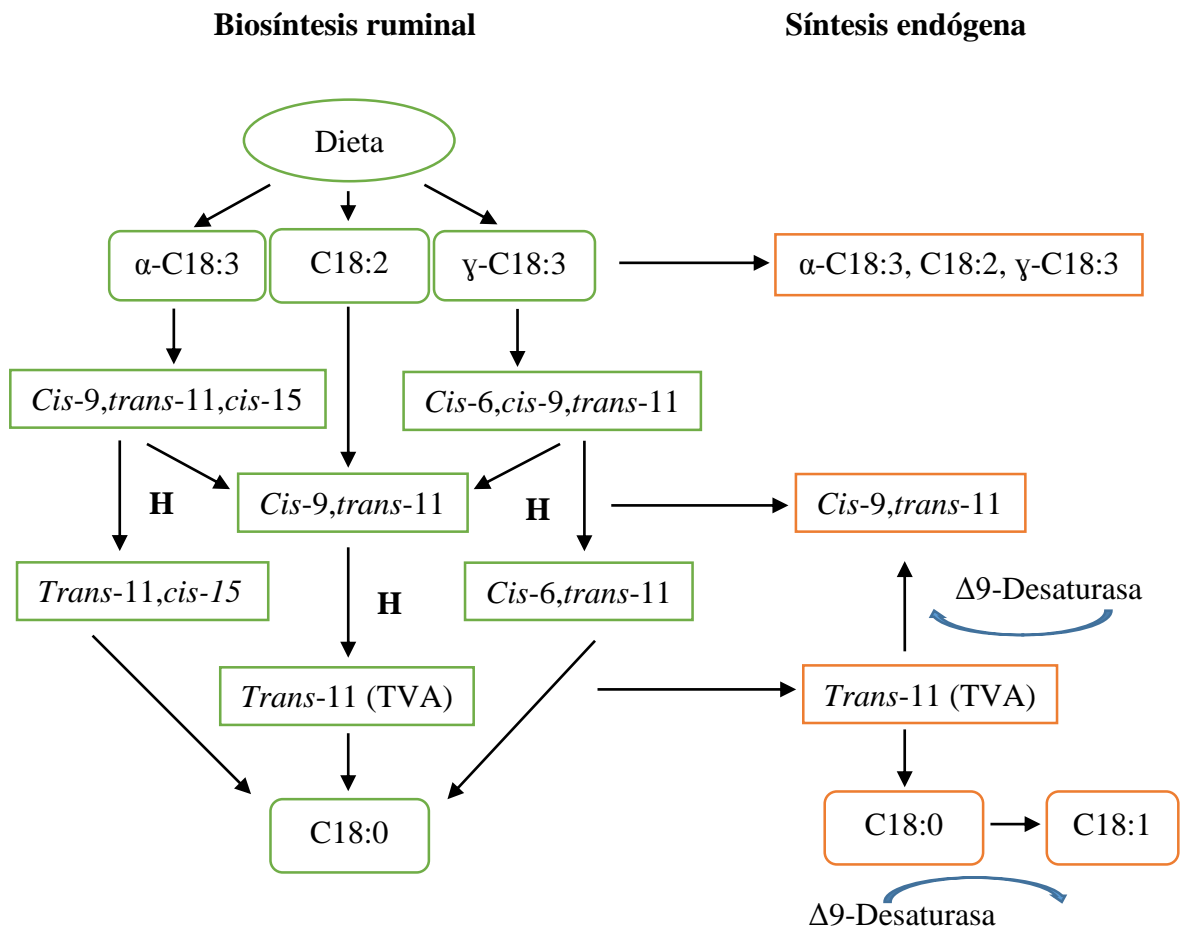


Figura 2. Síntesis del ácido linoleico conjugado en rumiantes. (Adaptado de Dhiman *et al.*, 2005).

El ALC también se sintetiza de forma endógena, a través de la desaturación del ácido vaccénico por acción de la enzima delta (Δ) 9-desaturasa, enzima que se encuentra ampliamente distribuida en bacterias del rumen como *Butirivibrio fibrisolvens*, glándula mamaria y tejido adiposo (Griinari *et al.*, 2000). La síntesis endógena del ALC es la principal vía de producción del isómero *cis*-9, *trans*-11, según Raes *et al.* (2003), mientras que la principal síntesis del isómero *trans*-10, *cis*-12 se lleva a cabo en rumen, por medio del isómero *trans*-10, cuando éste no sintetiza ácido vaccénico, siendo ésta la única vía de producción del isómero *trans*-10, *cis*-12, ya que en tejido animal no existe la enzima desaturasa que sintetiza un doble enlace (*cis*-12) en el isómero *trans*-10 (Raes *et al.*, 2004).

Efectos fisiológicos del ALC en la salud humana

Desde que Pariza *et al.* (1990) descubrieron el factor anticancerígeno del ALC, se ha llevado a cabo una serie de estudios en los que se han descrito y demostrado las propiedades benéficas atribuidas a este ácido graso, en específico a sus isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12, según se resume a continuación.

Ip *et al.* (1991) reportaron que el ALC previene la formación de células cancerígenas, inhibiendo la tumorigénesis y la carcinogénesis en glándula mamaria de rata, y piel de ratón. Shultz *et al.* (1992) indican que el ALC actúa a través de efectos citotóxicos en células cancerígenas, principalmente en células humanas de melanoma colo-rectal y cáncer mamario. También se han observado los efectos anticancerígenos del ALC en células de glándula mamaria, pero en condiciones *in vitro*, al agregar 100 y 200 μ M del isómero *cis*-9, *trans*-11 del ALC, situación que señala a este isómero como responsable en la inhibición del crecimiento de células cancerígenas (Liu *et al.*, 2002). Al respecto, Futakuchi *et al.* (2002) evaluaron los efectos quimiopreventivos del ALC derivado de aceite de cártamo (CFA-S) y aceite de Perilla (CFA-P) (*Perilla frutescens*), la cual contiene ácido α -linolénico conjugado. Las variables evaluadas fueron la 2-amino-1 metil-6-fenilimidazo (4,5-b) o piridina (PhIP), la cual induce la carcinogénesis mamaria en ratas, y los niveles de PCNA (proliferación de células positivas al antígeno nuclear), los cuales se encuentran relacionados a tumores mamaros. El contenido de ALC en los aceites CFA-S y CFA-P fue de 74.1% y 13.4%, respectivamente. Además, el CFA-P contenía 53.0% de ácido linolénico conjugado. El ALC no tuvo efecto para los niveles de PhIP.

Sin embargo, el CFA-S redujo la carcinogénesis mamaria, situación que fue asociada a una reducción en los niveles de PCNA. Misma situación fue observada por Cunningham *et al.* (1996), pero en células cancerígenas de glándula mamaria de humanos. Por su lado, Aro *et al.* (2000) reportaron que el consumo de productos lácteos, principalmente queso enriquecido con ALC, previene el desarrollo de cáncer de mama en mujeres postmenopáusicas. Los estudios anteriores, demuestran el potencial efecto benéfico del ALC, en especial del isómero *cis-9, trans-11*, el cual ha sido señalado como responsable en la inhibición del crecimiento de células cancerígenas, sobre todo en glándula mamaria.

Por otro lado, al ALC también se le confieren propiedades lipolíticas, efecto llevado a cabo por la acción del isómero *trans-10, cis-12*, el cual incrementa el gasto energético, reduce las células adiposas e inhibe la lipoproteína lipasa y la esteril-CoA desaturasa (Choi *et al.*, 2004; Park *et al.*, 2004). Estas últimas enzimas se encuentran relacionadas a la liberación de ácidos grasos, glicerol, y lipogénesis (Rodríguez *et al.*, 2009; Contreras y Santiago, 2011). Al respecto, Gaullier *et al.* (2007) evaluaron el efecto del ALC en la grasa corporal, masa corporal magra y relación cintura-cadera en hombres y mujeres adultos, quienes fueron distribuidos en dos grupos. El primer grupo fue suplementado con 3.4 g d⁻¹ de ALC y el segundo con 4.5 g d⁻¹ de aceite de oliva. El periodo de evaluación fue de 6 meses. El nivel de grasa corporal se redujo en los adultos que recibieron el ALC, en comparación con aquellos que consumieron aceite de oliva. El porcentaje de grasa en las piernas de los adultos disminuyó, principalmente en mujeres. La masa corporal magra aumentó dentro del grupo que consumió ALC. La relación cintura-cadera se redujo significativamente en aquellas personas que consumieron 3.4 g d⁻¹ de ALC. Los mismos autores concluyen que el ALC, en la dieta de adultos con sobrepeso y obesidad, disminuye la grasa corporal en regiones específicas del cuerpo como las piernas. De la misma manera, Mougios *et al.* (2001) evaluaron el efecto del ALC en la grasa corporal de 22 humanos, los cuales se dividieron en dos grupos, el primer grupo recibió 0.7 g d⁻¹ de ALC durante las primeras cuatro semanas del periodo de tratamiento y 1.4 g d⁻¹ de ALC en las próximas cuatro semanas. El segundo grupo recibió un placebo que consistía en aceite de soya, en los mismos periodos que el primer grupo. El ALC redujo la grasa corporal significativamente durante el segundo periodo de estudio. Los autores concluyeron que una dosis de 0.7 a 1.4 g d⁻¹ diariamente por un periodo de 4 a 8 semana puede reducir la grasa corporal. Los resultados de los estudios anteriores hacen evidente el potencial del ALC para disminuir la grasa corporal e incrementar la masa magra.

Respecto a la acción cardio-protectora del ALC, Noone *et al.* (2002) investigaron el efecto de dos mezclas de isómeros de ALC en el metabolismo de triglicéridos, transporte inverso del colesterol y factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares en humanos. Durante 8 semanas, 51 individuos recibieron 3 g d⁻¹ de una mezcla de isómeros (50: 50) *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12, y una mezcla de isómeros (80:20) *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 de ALC, y ácido linoleico como testigo. La mezcla 50:50 de los isómeros del ALC, redujo significativamente las concentraciones de triglicéridos en plasma sanguíneo. La mezcla 80:20 de los isómero del ALC disminuyó significativamente las concentraciones de colesterol (lipoproteínas de muy baja densidad). La conclusión de este estudio fue que la suplementación con ALC mejora los niveles de triglicéridos en plasma y el metabolismo de las lipoproteínas de muy baja densidad en seres humanos. Resultados similares fueron observados por Mougios *et al.* (2001), al evaluar el efecto del ALC en los parámetros bioquímicos del suero sanguíneo (colesterol y triglicéridos) de 23 humanos, encontrando que el colesterol (lipoproteínas de alta densidad) y los triglicéridos, disminuyeron significativamente. Los autores sugieren que una suplementación de 0.7 a 1.4 g d⁻¹ de ALC por un periodo de 4 a 8 semanas puede modular la concentración de lípidos séricos, y así ejercer efectos cardio-protectores del ALC en la salud humana.

Reynolds y Roche (2010) señalan en un artículo de revisión bibliográfica, que el ALC, en especial el isómero *cis*-9, *trans*-11 disminuye la inflamación causada por la aterosclerosis y la diabetes mellitus tipo 2, mediante la inhibición de las citocinas pro-inflamatorias y quimiocinas, las cuales según Sánchez *et al.* (2011) y Monteagudo *et al.* (2011) establecen la patogénesis en enfermedades inflamatorias agudas y crónicas. Del mismo modo, Moloney *et al.* (2007) señalan al isómero *cis*-9, *trans*-11 del ALC como causante de la disminución en el estado inflamatorio, en tejido adiposo de ratones. A este respecto, Yu *et al.* (2002) reportan que la acción del ALC en enfermedades inflamatorias, se realiza por medio de los receptores activados por el proliferador de peroxisomas (PPAR), regulando un subconjunto de genes y en consecuencia disminuyendo la producción de agentes pro-inflamatorios, tales como el factor α de necrosis tumoral (α -TNF). Es pertinente mencionar que los PPAR, según Aranda (2010) son un grupo perteneciente a la familia de receptores nucleares de factores de transcripción dependientes de ligandos, la cual incluye receptores para esteroides, retinoides y hormonas tiroideas. Además, el ALC reduce el interferón- γ (IFN), el cual induce la expresión del ARNm de mediadores de la inflamación,

incluyendo la ciclo-oxigenasa 2 (COX2), NOS inducible (iNOS), y α -TNF, y como consecuencia disminuye la producción de PGE2, α -TNF y óxido nítrico, los cuales son agentes inflamatorios en células de ratones.

Eyjolfson *et al.* (2004) evaluaron el efecto de la suplementación con ALC en seres humanos en la sensibilidad a la insulina. Participaron dieciséis jóvenes sedentarios divididos en dos grupos, de los cuales 10 de ellos recibieron 4 g d⁻¹ de isómeros del ALC (35.5% *cis*-9, *trans*-11 y 36.8% de *trans*-10, *cis*-12) por un periodo de 8 semanas, mientras que el resto recibieron aceite de cártamo como testigo. El índice de sensibilidad a la insulina aumentó, reflejándose en una disminución en las concentraciones de insulina en ayunas. Los mismos autores concluyen que una dosis de 4 g d⁻¹ de ALC (35.5% *cis*-9, *trans*-11 y 36.8% de *trans*-10, *cis*-12) en jóvenes sedentarios, mejora el índice de sensibilidad a la insulina, situación que resulta benéfica para la salud, ya que según Trout *et al.* (2007), por definición, la sensibilidad a la insulina es la eficacia para reducir la concentración de glucosa en sangre, estimulando la captación de glucosa por los tejidos periféricos, principalmente el tejido muscular y adiposo. Sin embargo, Eyjolfson *et al.* (2004) señalan que a pesar que el ALC parece aumentar la sensibilidad a la insulina, existe una considerable variabilidad individual en la respuesta, por lo que se requieren estudios adicionales para identificar cambios metabólicos subyacentes en el músculo esquelético humano.

En el sistema inmune, el ALC estimula la síntesis de inmunoglobulinas (Ig) A, G, y M, causando un descenso en los niveles de Ig E, por lo que se asume que el ALC puede tener efectos favorables en la prevención de algunas alergias alimentarias (Sugano *et al.*, 1998). Al respecto, Song *et al.* (2005) investigaron el efecto de la suplementación con ALC en la dieta, en el sistema inmune de humanos, los cuales recibieron 3 g d⁻¹ de una mezcla (50:50) de isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 del ALC. Los niveles de Ig A y M aumentaron, mientras que los niveles de Ig E disminuyeron. Esta situación resulta importante para el sistema inmune, sobre todo el incremento en la Ig M, la cual se ha demostrado es la más importante en términos de defensa contra las infecciones. En contraste, Nugent *et al.* (2005), reportan que la suplementación con ALC tiene efecto mínimo en los marcadores de la función inmune en seres humanos, al suplementar con 2 g d⁻¹ de ALC, el cual contenía una mezcla (50:50) de los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12. Las diferencias entre estudios pueden estar relacionadas a la dosis de ALC, la cual pudo no ser suficiente para generar diferencias importantes en el estudio de Nugent

et al. (2005), sugiriendo entonces, que se necesitan más estudios en seres humanos para corroborar que el ALC efectivamente mejora la función inmune.

También se ha reportado efecto antioxidante del ALC, aunque éste ha sido poco estudiado. Yu (2001) y Flintoff-Dye y Omaye (2005) establecen que el ALC actúa disminuyendo significativamente los niveles de peróxidos y de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico, ambos indicadores del estrés oxidativo. A este respecto, en un artículo de revisión bibliográfica, Cruz *et al.* (2000) reportan que estudios preliminares *in vivo* e *in vitro* sugieren que el ALC suprime la formación de peróxidos de los ácidos grasos insaturados que se exponen al aire o al calor, a una elevada temperatura por un periodo de tiempo prolongado. Sin embargo, los mismos autores señalan que las investigaciones recientes no han demostrado ninguna evidencia relacionada al efecto antioxidante del ALC. Ello motiva a nuevos estudios para ser llevados a cabo, para obtener más información relacionados a la función antioxidante y protectora del ALC en las enfermedades degenerativas enfocadas a radicales libres.

En resumen, los resultados generados de estos estudios acerca del ALC y sus efectos en la salud humana, son un aliciente para promover el consumo carne de rumiantes y productos derivados, ya que éstos pueden proveer valor terapéutico en el tratamiento de enfermedades relacionadas a la obesidad, problemas cardio-vasculares y diabetes, entre otras, particularmente por el contenido relativamente alto de ALC en la carne, y específicamente de ovinos, los cuales presentan los valores más altos de ALC, comparado con otras especies.

Concentración de ácido linoleico conjugado en carne y factores que lo afectan

En una revisión bibliográfica, Alfaia *et al.* (2010) indican que la principal fuente de ácido linoleico conjugado proviene de alimentos de origen animal, y básicamente de rumiantes, cuyos promedios para bovino y ovino, son 2.9 a 4 y 5.6 mg de ALC g⁻¹ de grasa, respectivamente, comparado con los promedios en cerdo y pollo, los cuales son de 0.6 y 0.9 mg de ALC g⁻¹ de grasa, respectivamente (Chin *et al.*, 1992). Lo anterior coincide con lo reportado por Schmid *et al.* (2006), con concentraciones de ALC en carne de ovinos y bovinos, en un rango de 4.3 a 19.0 y de 1.2 a 10.0 mg g⁻¹ lípidos, respectivamente, mientras en carne de cerdo, pollo y caballos, el contenido de ALC es menor a 1 mg g⁻¹ de lípidos. Los mismos autores, señalan que la

concentración de ALC en carne de ganado bovino proveniente de diferentes países como Argentina, Brasil y EUA, puede variar hasta en un 70% (3.06 a 6.2 mg g⁻¹ de lípidos), presentando la carne de Argentina y Brasil los valores más elevados de ALC, comparados con los valores de carne proveniente de EUA. Estas diferencias fueron atribuidas a los distintos sistemas de alimentación entre países, ya que el sistema de alimentación de los animales provenientes de Argentina y Brasil fue prácticamente de tipo extensivo, donde el pastoreo ocupa un papel importante, mientras que los animales provenientes de EUA fueron alimentados con dietas a base de maíz. De la misma manera, Nuernberg *et al.* (2008) reportaron que corderos en pastoreo muestran mayor concentración del isómero *cis*-9, *trans*-11 (21.3 mg 100 g⁻¹ de carne) en músculo graso, en comparación con corderos alimentados con una dieta a base de trigo y avena, bajo un sistema intensivo (11.3 mg 100 g⁻¹ de carne). Realini *et al.* (2004) también observaron que la concentración de ALC aumenta en sistemas extensivos, donde el ganado tiene libre acceso al consumo de forrajes frescos como Ryegrass perenne (*Lolium perenne*), Lotera (*Lotus corniculatus*), Trébol blanco (*Trifolium repens*), y Festuca alta (*Festuca arundinacea*), en comparación con animales alimentados con 50% de ensilado de maíz, 28% de cáscaras de trigo, 18% de maíz, y un suplemento del 5% (Cascos trigo, Rumensin® y urea), donde además el tiempo de la engorda y la cantidad de forraje ofrecido se reduce, situación que se refleja en niveles bajos de ALC en carne de novillos. Este comportamiento se explica por el hecho que en forrajes frescos predominan los ácidos grasos poli-insaturados, como el ácido linolénico (C18:3n-3), en más del 50% del total de ácidos grasos, y el ácido linoleico en un 10 a 20%, los cuales son precursores del ALC. En los mismos forrajes, pero conservados, el contenido de ácido linoleico (C18:2n-6), y de ácido oleico (C18:1n-9*cis*) aumentan su proporción (5 y 2%, respectivamente), mientras que el ácido linolénico desciende un 20% (Morand-Fehr y Tran, 2001). A pesar de existir el proceso de biohidrogenación a nivel ruminal, Noci *et al.* (2005) indican, que a mayor tiempo de pastoreo, el contenido de ALC aumenta, en tejidos como glándula mamaria y adiposo, por acción de la enzima $\Delta 9$ desaturasa en el ácido vaccénico, el cual se escapa del rumen, se absorbe en el intestino delgado y se deposita en los tejidos antes mencionados.

Boles *et al.* (2005) observaron que la suplementación con aceite de cártamo (6%) en la dieta de corderos, incrementa el porcentaje de varios isómeros del ALC en músculo magro, sin afectar el crecimiento animal, las características de la canal y la estabilidad del color de la carne. Por su

parte, Wachira *et al.* (2002) observaron que el ALC alcanzó una concentración de 1.65 y 1.90% en músculo *Longissimus dorsi* y tejido adiposo subcutáneo de corderos, respectivamente, al suplementar con linaza y aceite de pescado en la dieta. De la misma manera, Ivan *et al.* (2001) reportaron que al adicionar semilla de girasol en la dieta de corderos, incrementaron los niveles de ALC en muestras del músculo del diafragma (55%), músculo de la pierna (37%), costillas (33%) y grasa subcutánea (33%). Daniel *et al.* (2004) indican que los niveles de *cis*-9, *trans*-11 y C18:1, *trans*-11 incrementan en todos los tejidos de corderas cuando son alimentadas con gránulos de pasto deshidratado, en comparación con aquellas que son alimentadas con alimento concentrado. Wynn *et al.* (2006) evaluaron la efectividad de un suplemento de ALC protegido en las características de la canal y el perfil de ácidos grasos en diferentes tejidos de corderos. Los mismos autores encontraron que las proporciones de los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 del ALC, incrementaron en hígado y todos los tejidos estudiados (músculo *Longissimus*, hígado, subcutáneo, grasa omental, grasa perirrenal), por efecto de incluir ALC protegido en la dieta. Los resultados de los estudios anteriores demuestran la eficacia de utilizar ALCp en la dieta de bovinos y ovinos, donde se ha demostrado que el ALC es depositado en diferentes tejidos, situación que representaría una ventaja para los rumiantes en comparación con los no-rumiantes, sobre todo por el potencial efecto anticancerígeno y lipolítico del ALC.

Numerosos factores afectan el contenido de ALC en la carne de rumiantes. Estos factores pueden estar relacionados a la dieta y al animal (Khanal y Olson, 2004). Al respecto, Martínez (2007) reporta que el tipo y cantidad de grasa incluida en la dieta de rumiantes puede modificar el contenido de ácidos grasos en la carne, mejorando así, el valor nutricional de la misma. Felton y Kerley (2004) y Raes *et al.* (2004) observaron que la incorporación de suplementos grasos en la dieta de rumiantes, además de incrementar el contenido energético de la ración, permite manipular la composición en ácidos grasos en la carne. En el caso específico de rumiantes alimentados a base de forrajes frescos, se ha demostrado que en éstos predomina el ácido linolénico en más del 50% del total de ácidos grasos, y el ácido linoleico en un rango de 10 a 20%. En los mismos forrajes, pero conservados, la cantidad de ácido linoleico y de ácido oleico incrementan, mientras el ácido linolénico desciende (Morand-Fehr y Tran, 2001), es por ello que en carne de animales en pastoreo se puede modificar el perfil de ácidos grasos en comparación con animales alimentados con concentrados. Al respecto, Díaz *et al.* (2005) reportaron que la carne de corderos alimentados a base de forrajes o en combinación con concentrados, produce

mayor cantidad de ácido ruménico (*cis*-9, *trans*-11) en grasa intramuscular, que corderos finalizados a base de concentrado y paja de cereales. Santos *et al.* (2002) demostraron que corderos alimentados en pastoreo alcanzan mayor contenido de ALC en tejido muscular, comparados con corderos alimentados con concentrado *ad libitum*.

Uno de los factores que afecta el contenido de ALC en la carne, y que se encuentra relacionado al animal, es el proceso de digestión ruminal, en el cual los lípidos de la dieta forman metabolitos intermediarios, los cuales influyen sobre los tipos y el perfil de ácidos grasos depositados en los tejidos (Andrae *et al.*, 2001). Al respecto, Martínez (2007) reporta que los lípidos de la ración son hidrolizados en un 80% por la microflora del rumen, y tras la hidrólisis, los ácidos grasos insaturados libres son biohidrogenados para generar moléculas más saturadas. Debido a estos procesos, los lípidos que alcanzan el intestino delgado son predominantemente ácidos grasos libres (85 a 90%), de los cuales, en su mayoría saturados (80 a 90%), y de ellos, el ácido esteárico (C18:0) representa dos tercios, y el ácido palmítico el tercio restante (Drackley, 2007). Esta es la razón por la cual la predominancia de ácidos grasos saturados en la carne de animales rumiantes, ya que los AGS son el resultado de la extensa biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados de la dieta, por acción de las bacterias del rumen (Givens *et al.*, 2006). Sin embargo, el ácido oleico es predominante en tejido muscular de rumiantes (40% del total de ácidos grasos) (Bas y Morand-Fehr, 2000; Bas y Sauvant, 2001), debido a que una gran parte del ácido esteárico absorbido a nivel intestinal es deshidrogenado por la enzima Δ 9-desaturasa, previo a su deposición en tejido muscular (Smith *et al.*, 2006). Respecto a la fracción de ácidos grasos poli-insaturados que son consumidos en la dieta, solamente un 10 a 15% escapa del proceso de biohidrogenación para ser absorbidos directamente en intestino delgado, y posteriormente ser depositados como tal, en la grasa de los tejidos, consecuentemente se modifica el perfil de ácidos grasos en la carne (Givens *et al.*, 2006). Ante este escenario nace la importancia de agregar lípidos protegidos en la dieta, para asegurar que una fracción importante escape al proceso de biohidrogenación ruminal y sea depositado directamente en los tejidos. En este sentido, además de considerar factores relacionados a la dieta y al animal, se deben considerar el proceso de cocción de los alimentos, ya que la temperatura puede modificar la composición de la carne, especialmente la composición de la grasa, debido que los lípidos son rápidamente oxidados por efecto de la temperatura (Badiani *et al.*, 2002; Serrano *et al.*, 2007), aunque hay gran variabilidad en los cambios relativos individuales de ácidos grasos en respuesta

a diferentes métodos de cocción (Badiani *et al.*, 2002). Al respecto, Alfaia *et al.* (2010) investigaron el efecto de algunas prácticas culinarias como la ebullición, micro-ondas y parrilla, en la composición de ácidos grasos de carne de ganado bovino, con especial énfasis en los isómeros del ALC. Los principales cambios que observaron en la composición de ácidos grasos fueron en 16 ácidos grasos de los 34 estudiados, los cuales resultaron en porcentajes más altos de AGS y AGMS en carne cocida, con menor proporción de ácidos grasos poli-insaturados, en relación con la carne cruda, mientras que los isómeros del ALC mostraron una gran estabilidad a los procesos térmicos. Lo anterior sugiere que los ácidos grasos poli-insaturados son afectados por efecto de la temperatura, a excepción del ALC, el cual parece mostrar mayor estabilidad, situación que representa ventaja al ser éste un ácido graso de importancia en la salud humana.

CONCLUSIONES

El ácido linoleico conjugado es un ácido graso poliinsaturado con potencial efecto benéfico para la salud, particularmente los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12, presentes en los alimentos, haciendo de éstos, *alimentos funcionales*, toda vez que además de nutrir, cumplen funciones biológicas en beneficio de la salud humana, como son el efecto anticancerígeno por acción del isómero *cis*-9, *trans*-11, y el efecto lipolítico por acción del isómero *trans*-10, *cis*-12. Con base a ello y a la concentración de dicho ácido en mayor proporción en la carne de ovinos, podría considerarse la carne ovina como *alimento funcional*. El contenido de ácido linoleico conjugado en los diferentes tejidos puede ser modificado por varios factores, siendo la dieta uno de los que mayor efecto tienen, donde el factor forraje fresco o suplementando ácido linoleico conjugado protegido en la dieta son claves para incrementar el ALC en tejido muscular y adiposo. En el mismo sentido, la especie animal es otro de los factores clave, donde los ovinos parecen ser más eficientes en la deposición del ácido linoleico conjugado en los diferentes tejidos, en comparación con otras especies animales, incluso mejor que el ganado bovino.

REFERENCIAS

- Alfaia, C. M., Ribeiro, V. S., Lourenço, M. R., Quaresma, M. A., Martins, S. I., Portugal, A. P., Fontes, C. M., Bessa, R. J., Castro, M. L., Prates, J. A. 2006. Fatty acid composition, conjugated linoleic acid isomers and cholesterol in beef from crossbred bullocks intensively produced and from Alentejana purebred bullocks reared according to Carnalentejana-PDO specifications. *Meat Science*, 72(3): 425-436.
- Alfaia, C. M., Alves, S. P., Lopes, A. F., Fernandes, M. J., Costa, A. S., Fontes, C. M., Castro, M. L. F., Bessa, R. J. B., Prates, J. A. 2010. Effect of cooking methods on fatty acids, conjugated isomers of linoleic acid and nutritional quality of beef intramuscular fat. *Meat Science*, 84(4): 769-777.
- Álvarez, J. R. M., Candela, C. G., Marín, A. V. 2006. Obesidad y alimentos funcionales ¿son eficaces los nuevos ingredientes y productos? *Revista de Medicina*, 50(4): 31-38.
- Andrae, J. G., Duckett, S. K., Hunt, C. W., Pritchard, G. T., Owens, F. N. 2001. Effects of feeding high-oil corn to beef steers on carcass characteristics and meat quality. *Journal of Animal Science*, 79(3): 582-588.
- Aranda, A. 2010. La superfamilia de los receptores nucleares. *Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular*. En http://www.sebbm.es/ES/divulgacion-ciencia-para-todos_10/la-superfamilia-de-los-receptores-nucleares_405. Consultado el 19 de Agosto de 2015.
- Arihara, K. 2004. Functional foods. *Encyclopedia of Meat Sciences*, 1, 492-499.
- Arihara, K. 2006. Strategies for designing novel functional meat products. *Meat Science*, 74(1): 219-229.
- Arihara, K., & Ohata, M. 2008. Bioactive compounds in meat. In *Meat biotechnology*. Springer New York, pp. 231-249.
- Aro, A., Männistö, S., Salminen, I., Ovaskainen, M. L., Kataja, V., Uusitupa, M. 2000. Inverse association between dietary and serum conjugated linoleic acid and risk of breast cancer in postmenopausal women. *Nutrition and Cancer*, 38(2): 151-157
- Azain, M. J., Hausman, D. B., Sisk, M. B., Flatt, W. P., Jewell, D. E. 2000. Dietary conjugated linoleic acid reduces rat adipose tissue cell size rather than cell number. *The Journal of Nutrition*, 130(6): 1548-1554.

- Badiani, A., Stipa, S., Bitossi, F., Gatta, P. P., Vignola, G., Chizzolini, R. 2002. Lipid composition, retention and oxidation in fresh and completely trimmed beef muscles as affected by common culinary practices. *Meat Science*, 60(2): 169-186.
- Banni, S. 2002. Conjugated linoleic acid metabolism. *Current Opinion in Lipidology*, 13(3): 261-266.
- Barquera, S., Rivera, J., Campos, N. I., Hernández B. L., Santos B., Durán, C. E., Hernández, A. M. 2010. Bases técnicas del acuerdo nacional para la salud alimentaria. Estrategia Contra el Sobrepeso y la Obesidad. México, DF: Secretaría de Salud.
- Bas, P., & Morand-Fehr, P. 2000. Effect of nutritional factors on fatty acid composition of lamb fat deposits. *Livestock Production Science*, 64(1): 61-79.
- Bas, P., & Sauvant, D. 2001. Variations de la composition des dépôts lipidiques chez les bovins. *Productions Animales*, 14(5): 311-322.
- Bauman, D. E., Perfield, J. W., De Veth, M. J., Lock, A. L. 2003. New perspectives on lipid digestion and metabolism in ruminants. In *Proc. Cornell Nutrition Conference*, 65:175-189.
- Bellenger, S., Bellenger, J., Ghiringhelli, F., Narce, M., Rialland, M. 2013. *Trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid induced cell death in human colon cancer cells through reactive oxygen species-mediated ER stress. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1831: 759-768.
- Bianchi, G., Bentancur, O., Garibotto, G., Feed, O., Franco, J., Sañudo, C. 2006. Efecto del tiempo de maduración *post mortem* sobre la calidad sensorial de la carne de corderos corriedale y cruza. *Agrociencia*, 10(1): 81-87.
- Bianchi, G., Bentancur, O., Sañudo, C. 2014. La maduración de la carne de cordero como una herramienta para mejorar su terneza y calidad sensorial. *Revista Argentina de Producción Animal*, 26(1): 39-55.
- Bianchi, G., Bentancur, O., Sañudo, C. 2014. La maduración de la carne de cordero como una herramienta para mejorar su terneza y calidad sensorial. *Revista Argentina de Producción Animal*, 26(1): 39-55.
- Bianchi, G., Garibotto, G., Franco, J., Ballesteros, F., Bentancur, O., Feed, O. 2008. Calidad de carne ovina: impacto de decisiones tomadas a lo largo de la cadena. Seminario Técnico Internacional: “Enfoques sobre la calidad de carne y grasa en rumiantes: El Consumidor Como Prioridad”, Montevideo.

- Biswas, A. K., Kumar, Bhosle V. S., Sahoo J., Chatli M.K. 2010. Dietary fibers as functional ingredients in meat products and their role in human health. *International Journal of Livestock Production*, 2(4): pp. 45-54.
- Boles, J. A., Kott, R. W., Hatfield, P. G., Bergman, J. W., Flynn, C. R. 2005. Supplemental safflower oil affects the fatty acid profile, including conjugated linoleic acid, of lamb. *Journal of Animal Science*, 83(9): 2175-2181.
- Bou, R., Guardiola, F., Grau, A., Grimpa, S., Manich, A., Barroeta, A., Codony, R. 2001. Influence of dietary fat source, α -tocopherol, and ascorbic acid supplementation on sensory quality of dark chicken meat. *Poultry Science*, 80(6): 800-807.
- Buccioni, A., Decandia, M., Minieri, S., Molle, G., Cabiddu, A. 2012. Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. *Animal Feed Science and Technology*, 174(1): 1-25.
- Canizal, E. J., Rivera, SM. 2007. Situación Actual de la Ganadería Bovina en México. Universidad Autónoma de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 40 p.
- Carrillo, L. M., Serra, J. D., Martínez, J. R., Alberich, R. S., Jiménez, F. P. 2011. Grasas de la dieta y salud cardiovascular. Atención primaria: Publicación oficial de la Sociedad Española de Familia y Comunitaria, 43(3): 157.
- Castañeda, D. D. y Peñuela, S. L. 2010. Ácidos grasos en la carne bovina: Confinamiento Vs. Pastoreo. Ganadería. En: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/carne_y_subproductos/122-acidos_grasos.pdf. Consultado el 6 de Junio de 2015.
- Chan, D. S., Lau, R., Aune, D., Vieira, R., Greenwood, D. C., Kampman, E., Norat, T. 2011. Red and processed meat and colorectal cancer incidence: meta-analysis of prospective studies. *Plos One*, 6(6): e20456.
- Chin, S. F., Liu, W., Storkson, J. M., Ha, Y. L., Pariza, M. W. 1992. Dietary sources of conjugated dienoic isomers of linoleic acid, a newly recognized class of anticarcinogens. *Journal of Food Composition and Analysis*, 5(3): 185-197.
- Choi, J. S., Jung, M. H., Park, H. S., Song, J. 2004. Effect of conjugated linoleic acid isomers on insulin resistance and mRNA levels of genes regulating energy metabolism in high-fat-fed rats. *Nutrition*, 20(11): 1008-1017.

- Clément, L., Poirier, H., Niot, I., Bocher, V., Guerre-Millo, M., Krief, S., Staels B., Besnard, P. 2002. Dietary *trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid induces hyperinsulinemia and fatty liver in the mouse. *Journal of Lipid Research*, 43(9): 1400-1409.
- Contreras, L. E., y Santiago, G. J. 2011. Obesidad, síndrome metabólico y su impacto en las enfermedades cardiovasculares. *Revista Biomédica*, 22: 103-115.
- Cross, A. J., Leitzmann, M. F., Gail, M. H., Hollenbeck, A. R., Schatzkin, A., Sinha, R. 2007. A prospective study of red and processed meat intake in relation to cancer risk. *Plos Medicine*, 4(12): 325 p.
- Crumb, D. J., & Vatter, D. A. 2011. Conjugated linoleic acid (CLA)-An overview. *International Journal of Applied Research in Natural Products*, 4(3): 12-15.
- Cruz, P. S., de Juan, G. T. P., Sánchez, M. F. J. 2000. CLA antioxidant or prooxidant?. *Grasas y Aceites*, 51(4): 268-274.
- Cunningham, D. C., Harrison, L. Y., Shultz, T. D. 1996. Proliferative responses of normal human mammary and MCF-7 breast cancer cells to linoleic acid, conjugated linoleic acid and eicosanoid synthesis inhibitors in culture. *Anticancer Research*, 17(1A): 197-203.
- Daniel, Z. C. T. R., Wynn, R. J., Salter, A. M., Buttery, P. J. 2004. Differing effects of forage and concentrate diets on the oleic acid and conjugated linoleic acid content of sheep tissues: The role of stearoyl-CoA desaturase. *Journal of Animal Science*, 82(3): 747-758.
- De León, M. 2005. La intensificación de la ganadería y la calidad de la carne. En: Proyecto Regional de ganadería. Boletín técnico de producción animal 3(1). Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuario Manfredi. Argentina, 18 p.
- De Smet, S., Raes, K., Demeyer, D. 2004. Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. *Animal Research*, 53(2): 81-98.
- Dhiman, T. R., Nam, S. H., Ure, A. L. 2005. Factors affecting conjugated linoleic acid content in milk and meat. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(6): 463-482.
- Díaz, M. T., Alvarez, I., De la Fuente, J., Sañudo, C., Campo, M. M., Oliver, M. A., Fonti F., Cañeque, V. 2005. Fatty acid composition of meat from typical lamb production systems of Spain, United Kingdom, Germany and Uruguay. *Meat Science*, 71(2): 256-263.

- Drackley, J. K. 2007. Overview of fat digestion and metabolism in dairy cows. En: <http://nurisol.net/downloads/overview%20of%20Fats%2004.pdf>. Consultado el 06 de Junio de 2015.
- Esperanza, B. V., Thomas, A., Lyan, B., Habeanu, M., Gruffat, D., Durand, D., Bauchart, D. 2009. Lipid supplements rich in n-3 polyunsaturated fatty acids deeply modify *trans* 18: 1 isomers in the Longissimus thoracis muscle of finishing bovine. *Analysis*, 1(1.8): 1-1.
- Eyjolfson, V., Spriet, L. L., Dyck, D. J. 2004. Conjugated linoleic acid improves insulin sensitivity in young, sedentary humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(5): 814-820.
- FAO, 2004. Inocuidad Y Calidad De Los Alimentos En Europa: Aspectos relacionados con la calidad, el equilibrio nutricional, la Importancia de los terrenos agrícolas y el patrimonio cultural (« Terroirs »). 24ª Conferencia Regional de la FAO para Europa. Montpellier, Francia, 5-7 de Mayo de 2004.
- FAO. 2010. Grasas y ácidos grasos en la nutrición humana. Fundación Iberoamericana de Nutrición. Granada, España, 2012. 175 p.
- Felton, E. E. D., y Kerley, M. S. 2004. Performance and carcass quality of steers fed different sources of dietary fat. *Journal of Animal Science*, 82(6): 1794-1805.
- Ferguson, L. R. 2010. Meat and cancer. *Meat Science*, 84(2): 308-313.
- Fernández, G. J. M., Fernández, L. J., Sayas, B. E., Pérez, A. J. 2005. Meat products as functional foods: A review. *Journal of Food Science*, 70(2): R37-R43.
- Flintoff-Dye, N. L., y Omaye, S. T. 2005. Antioxidant effects of conjugated linoleic acid isomers in isolated human low-density lipoproteins. *Nutrition Research*, 25(1): 1-12.
- Forouhi, N. G., Koulman, A., Sharp, S. J., Imamura, F., Kröger, J., Schulze, M. B., Francesca L. C., Wareham, N. J. 2014. Differences in the prospective association between individual plasma phospholipid saturated fatty acids and incident type 2 diabetes: the EPIC-InterAct case-cohort study. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 2(10): 810-818.
- Franco, J., Feed, O., Bianchi, G., Garibotto, G., Ballesteros, F., Nan, F., Percovich, M., Piriz, M., Bentancur, O. 2008. Parámetros de calidad de carne en cinco músculos de novillos Holando durante la maduración *post-mortem* III. Calidad sensorial. *Agrociencia*, 12(1): 74-79.

- Franco, J., Feed, O., Garibotto, G., Ballesteros, F., Forichi, E., Bentancur, O., Bianchi, G. 2013. Efecto del “tendercut”, vitamina D3 y maduración sobre la textura y calidad sensorial de la carne vacuna. *Revista Argentina de Producción Animal*, 28(1): 45-52.
- Futakuchi, M., Cheng, J. L., Hirose, M., Kimoto, N., Cho, Y. M., Iwata, T., Kasai, M., Tokudome, S., Shirai, T. 2002. Inhibition of conjugated fatty acids derived from safflower or perilla oil of induction and development of mammary tumors in rats induced by 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo [4, 5-b] pyridine (PhIP). *Cancer Letters*, 178(2): 131-139.
- Gaullier, J. M., Halse, J., Høivik, H. O., Høye, K., Syvertsen, C., Nurminiemi, M., Hassfeld, C., Einerhand, A., O'Shea, M., y Gudmundsen, O. 2007. Six months supplementation with conjugated linoleic acid induces regional-specific fat mass decreases in overweight and obese. *British Journal of Nutrition*, 97(03): 550-560.
- German, J. B. 2011. Dietary lipids from an evolutionary perspective: sources, structures and functions. *Maternal & Child Nutrition*, 7(s2): 2-16.
- Gillis, M. H., Duckett, S. K., Sackmann, J. R. 2007. Effects of supplemental rumen-protected conjugated linoleic acid or corn oil on lipid content and palatability in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 85(6): 1504-1510.
- Gillis, M. H., Duckett, S. K., Sackmann, J. R., Realini, C. E., Keisler, D. H., Pringle, T. D. 2004. Effects of supplemental rumen-protected conjugated linoleic acid or linoleic acid on feedlot performance, carcass quality, and leptin concentrations in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 82(3): 851-859.
- Givens, D. I., Kliem, K. E., Gibbs, R. A. 2006. The role of meat as a source of n3 polyunsaturated fatty acids in the human diet. *Meat Science*, 74(1): 209-218.
- Go A. S., Mozaffarian D, Roger V. L., Benjamin E. J., Berry J. D., Borden W. B., Bravata D. M., Shifan D., Ford E. S., Fox Caroline S., Franco S., Fullerton H. J., Gillespie C., Hailpern S. M., Heit J. A., Howard V. J., Huffman M. D., Kissela B. M., Kittner S. J., Lackland D. T., Lichtman J. H., Lisabeth L. D., Magid D., Marcus G. M., Marelli A., Matchar D. B., Mcguire D. K., Mohler E. R., Moy C. S., Mussolino M. E., Nichol G., Paynter N. P., Schreiner P. J., Sorlie P. D., Stein J., Turan T. N., Virani S. S., Wong N. D., Woo D., Turner M. B. 2013. Executive summary: heart disease and stroke statistics-2013 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*, 127: 143-52.

- Grashorn, M. A. 2007. Functionality of poultry meat. *The Journal of Applied Poultry Research*, 16(1): 99-106.
- Griinari, J. M., Corl, B. A., Lacy, S. H., Chouinard, P. Y., Nurmela, K. V. V., Bauman, D. E. 2000. Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by $\Delta 9$ -desaturase. *The Journal of Nutrition*, 130(9): 2285-2291.
- Hasler, C. M., & Brown, A. C. 2009. Position of the American Dietetic Association: functional foods. *Journal of the American Dietetic Association*, 109(4): 735-746.
- Hasler, C. M., A. S. Bloch, C. A. Thomson, E. Enrione, & C. Manning. 2004. Position of the American Dietetic Association: Functional Foods. *J. Am. Diet. Assoc.* 104: 814–826.
- Hui, H.Y., Guerrero, I., Rosmini, M.R., 2006. *Ciencia y Tecnología de Carnes*. Ed. Limusa Noriega Editores. México, 643 p.
- Ip, C., Chin, S. F., Scimeca, J. A., Pariza, M. W. 1991. Mammary cancer prevention by conjugated dienoic derivative of linoleic acid. *Cancer Research*, 51(22): 6118-6124.
- Ivan, M., Mir, P. S., Koenig, K. M., Rode, L. M., Neill, L., Entz, T., Mir, Z. 2001. Effects of dietary sunflower seed oil on rumen protozoa population and tissue concentration of conjugated linoleic acid in sheep. *Small Ruminant Research*, 41(3): 215-227.
- Jahreis, G., Fritsche, J., Möckel, P., Schöne, F., Möller, U., Steinhart, H. 1999. The potential anticarcinogenic conjugated linoleic acid, *cis*-9, *trans*-11 C18: 2, in milk of different species: cow, goat, ewe, sow, mare, woman. *Nutrition Research*, 19(10):1541-1549.
- Jerez, N. 2005. Influencia genética en la producción de carne de calidad. En: *Manual de Ganadería Doble Propósito*. Gonzales-Stagnaro y Soto (edit.). Fundación GIRARZ. Venezuela: 639-644 p.
- Jiménez C., F., Serrano, J. A., Solas M., Cofrades S., Carballo J. 2003. Physicochemical and sensory characteristics of restructured beef steak with added walnuts. *Meat Science*, 65(4): 1391–1397.
- Jiménez, C. F., M. Reig, F. Toldra. 2006. New approaches for the development of functional meat products. In: Nollet L. M. L. & F. Toldrá (eds). *Advanced Technologies for Meat Processing*. CRC Press. Taylor and Francis Group. FL, USA.
- Ke, X. Y., Zhao, B. J., Zhao, X., Wang, Y., Huang, Y., Chen, X. M., Zhao, B. X., Zhao, S. S., Zhang, X., Zhang, Q. 2010. The therapeutic efficacy of conjugated linoleic acid-paclitaxel on glioma in the rat. *Biomaterials*, 31(22): 5855-5864.

- Khan, M. I., Arshad, M. S., Anjum, F. M., Sameen, A., Gill, W. T. 2011. Meat as a functional food with special reference to probiotic sausages. *Food Research International*, 44(10): 3125-3133.
- Khanal, R. C., & Dhiman, T. R. 2004. Biosynthesis of Conjugated Linoleic Acid (CLA): A Review. *Pakistan Journal of Nutrition*, 3(2): 72-81.
- Khanal, R. C., & Olson, K. C. 2004. Factors affecting conjugated linoleic acid (CLA) content in milk, meat, and egg: a review. *Pakistan Journal of Nutrition*, 3(2): 82-98.
- Kontogianni, M. D., Panagiotakos, D. B., Pitsavos, C., Chrysohoou, C., Stefanadis, C. 2008. Relationship between meat intake and the development of acute coronary syndromes: The CARDIO2000 case-control study. *European Journal of Clinical Nutrition*, 62(2): 171-177.
- Kritchevsky, D. 2000. Antimutagenic and some other effects of conjugated linoleic acid. *British Journal of Nutrition*, 83(05): 459-465.
- Liu, J. R., Chen, B. Q., Yang, Y. M., Han, X. H., Xue, Y. B., Wang, X. L., Zheng, Y. M., Liu, R. H. 2002. Effects of *cis*-9, *trans*-11-conjugated linoleic acid on cancer cell cycle. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 7(5): 205-210.
- Lock, A. L., Teles, B. M., Perfield, J. W., Bauman, D. E., Sinclair, L. A. 2006. A conjugated linoleic acid supplement containing *trans*-10, *cis*-12 reduces milk fat synthesis in lactating sheep. *Journal of Dairy Science*, 89(5): 1525-1532.
- Mamani, L. L. W., y Gallo, C. 2013. Perfil de ácidos grasos de carne de ovino y caballo criados bajo un sistema de producción extensiva. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 24(3): 257-263.
- Månsson, H. L. 2008. Fatty acids in bovine milk fat. *Food & Nutrition Research*, 52.
- Manzur, J., Alvear, S., Alayón, A. 2009. Consumo de ácidos grasos *trans* y riesgo cardiovascular. *Revista Colombiana de Cardiología*, 16(3): 103-111.
- Marín, A. L. M., Hernández, M. P., Alba, L. P., Castro, G. G. 2010. Digestión de los lípidos en los rumiantes: una revisión. *Interciencia*, 35(4): 240-246.
- Martínez, M. A. L. 2007. Influencia de la nutrición sobre el contenido y tipo de ácidos grasos en la carne de los rumiantes. *Archivos de Zootecnia* 56 (Revisiones): 45-66.
- Martínez, M. A. L., Pérez, H. M., Pérez, A. L., Gómez, C. G., Carrión, P. D. 2010. Metabolismo de los lípidos en los rumiantes. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 11(8):01-21.

- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A. 2006. *Nutrición animal*. Zaragoza, España: Editorial Acribia, 587 p.
- McNeill, S., y Van Elswyk, M. E. 2012. Red meat in global nutrition. *Meat Science*, 92(3): 166-173.
- Mendivil A. C. O., & Sierra A. I. D. 2005. Acción insulínica y resistencia a la insulina: aspectos moleculares. *Revista Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia*, 53(4): 235-243.
- Micha, R., Michas, G., Mozaffarian, D. 2012. *Current Atherosclerosis Reports*, 14(6): 515-524.
- Moloney, F., Toomey, S., Noone, E., Nugent, A., Allan, B., Loscher, C. E., Roche, H. M. 2007. Antidiabetic effects of *cis*-9, *trans*-11–conjugated linoleic acid may be mediated via anti-inflammatory effects in white adipose tissue. *Diabetes*, 56(3): 574-582.
- Monteagudo, C., Pellín-Carcelén, A., Martín, J. M., Ramos, D. 2011. Papel de las quimiocinas en la progresión del melanoma. *Actas Dermo-Sifiliográficas*, 102(7): 498-504.
- Moon, H. S. 2014. Biological effects of conjugated linoleic acid on obesity-related cancers. *Chemico-Biological Interactions*, (224):189-195.
- Moon, H. S., Lee, H. G., Chung, C. S., Choi, Y. J., Cho, C. S. 2008. Physico-chemical modifications of conjugated linoleic acid for ruminal protection and oxidative stability. *Nutrition & Metabolism*, 5(1): 16.
- Morand-Fehr, P., y Tran, G. 2001. La fraction lipidique des aliments et les corps gras utilisés en alimentation animale. *Productions Animales*, 14(5): 285-302.
- Mougios, V., Matsakas, A., Petridou, A., Ring, S., Sagredos, A., Melissopoulou, A., Nikos T., Nikolaidis, M. 2001. Effect of supplementation with conjugated linoleic acid on human serum lipids and body fat. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 12(10): 585-594.
- Mozaffarian D, Katan M. B., Ascherio A., Stampfer M. J., Willett W. C. 2006. *Trans* fatty acids and cardiovascular disease. *New England Journal of Medicine*, 354: 1601-1613.
- Muchnik, J. 2006. Identidad territorial y calidad de los alimentos: procesos de calificación y competencias de los consumidores. *Territorial identity and food quality: qualification processes and consumers' competences*. *Agroalimentaria*, 12: (22).
- Noci, F., Monahan, F. J., French, P., Moloney, A. P. 2005. The fatty acid composition of muscle fat and subcutaneous adipose tissue of pasture-fed beef heifers: Influence of the duration of grazing. *Journal of Animal Science*, 83(5): 1167-1178.

- Noone, E. J., Roche, H. M., Nugent, A. P., Gibney, M. J. 2002. The effect of dietary supplementation using isomeric blends of conjugated linoleic acid on lipid metabolism in healthy human subjects. *British Journal of Nutrition*, 88(03): 243-251.
- Nuernberg, K., Fischer, A., Nuernberg, G., Ender, K., Dannenberger, D. 2008. Meat quality and fatty acid composition of lipids in muscle and fatty tissue of Skudde lambs fed grass versus concentrate. *Small Ruminant Research*, 74(1): 279-283.
- Nugent, A. P., Roche, H. M., Noone, E. J., Long, A., Kelleher, D. K., Gibney, M. J. 2005. The effects of conjugated linoleic acid supplementation on immune function in healthy volunteers. *European Journal of Clinical Nutrition*, 59(6): 742-750.
- O'Donnell, C. J., & Elosua, R. 2008. Factores de riesgo cardiovascular. Perspectivas derivadas del Framingham Heart Study. *Revista Española de Cardiología*, 61(3): 299-310.
- OMS. 2012. Prevención y control de las enfermedades no transmisibles: aplicación de la estrategia mundial. 63^a Asamblea de la Salud. Ginebra Suiza, 2010: 17 p.
- Ortega R.M., Pérez J. F., Bultó S. L., Quesada E. M. 2015. Prejuicios y verdades sobre las grasas y otros alimentos. Sociedad Española de Dietética y Ciencias en alimentación. En: http://www.nutricion.org/publicaciones/pdf/prejuiciosy_verdades_sobre_grasas.pdf. Consultado el 15 de Junio de 2015.
- Pan, A., Sun, Q., Bernstein, A. M., Schulze, M. B., Manson, J. E., Stampfer, M. J., Walter C. W., Hu, F. B. 2012. Red meat consumption and mortality: results from 2 prospective cohort studies. *Archives of Internal Medicine*, 172(7): 555-563.
- Pappritz, J., Meyer, U., Kramer, R., Weber, E. M., Jahreis, G., Rehage, J., Flachowsky G., Dänicke, S. 2011. Effects of long-term supplementation of dairy cow diets with rumen-protected conjugated linoleic acids (CLA) on performance, metabolic parameters and fatty acid profile in milk fat. *Archives of Animal Nutrition*, 65(2): 89-107.
- Pariza, M. W., Ha, Y. L. 1990. Conjugated dienoic derivatives of linoleic acid: a new class of anticarcinogens. *Medical Oncology and Tumor Pharmacotherapy*, 7 (2-3): 169-171.
- Pariza, M. W., Park, Y., Cook, M. E. 2001. The biologically active isomers of conjugated linoleic acid. *Progress in Lipid Research*, 40(4): 283-298.
- Park, Y., Storkson, J. M., Liu, W., Albright, K. J., Cook, M. E., Pariza, M. W. 2004. Structure–activity relationship of conjugated linoleic acid and its cognates in inhibiting heparin-

- releasable lipoprotein lipase and glycerol release from fully differentiated 3T3-L1 adipocytes. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 15(9): 561-568.
- Raes, K., De Smet, S., Balcaen, A., Claeys, E., Demeyer, D. 2003. Effect of diets rich in N-3 polyunsaturated fatty acids on muscle lipids and fatty acids in Belgian Blue double-muscling young bulls. *Reproduction Nutrition Development*, 43(4): 331-345.
- Raes, K., De Smet, S., Demeyer, D. 2004. Effect of dietary fatty acids on incorporation of long chain polyunsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid in lamb, beef and pork meat: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 113(1): 199-221.
- Rainer, L., & Heiss, C. J. 2004. Conjugated linoleic acid: health implications and effects on body composition. *Journal of the American Dietetic Association*, 104(6): 963-968.
- Ramírez, M. M., Hernández, M. O., Ramírez B. E. J., Améndola, M. R. D., Crosby G. M. M., Burgueño F. J. A. 2013. Effect of vitamin E on milk composition of grazing dairy cows supplemented with microencapsulated conjugated linoleic acid. *Tropical Animal Health and Production*, 45(8): 1783-1788.
- Realini, C. E., Duckett, S. K., Brito, G. W., Dalla R. M., Mattos, D. D. 2004. Effect of pasture vs. concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition, and quality of Uruguayan beef. *Meat Science*, 66(3): 567-577.
- Reynolds, C. M., & Roche, H. M. 2010. Conjugated linoleic acid and inflammatory cell signalling. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 82(4): 199-204.
- Rodríguez, C. M., Tovar, A. R., del Prado, M., Torres, N. 2005. Mecanismos moleculares de acción de los ácidos grasos poliinsaturados y sus beneficios en la salud. *Revista de Investigación Clínica*, 57(3): 457-472.
- Rodríguez, R. E., Perea, J. M., López, S. A. M., Ortega, R. M. 2009. Obesidad, resistencia a la insulina y aumento de los niveles de adipocinas: importancia de la dieta y el ejercicio físico. *Nutrición Hospitalaria*, 24(4), 415-421.
- Sánchez, C. C. P., Pichardo, O. E., López, R. P. 2004. Epidemiología de la obesidad. *Gaceta Médica de México*, 140 (Supl 2), S3-S20.
- Sánchez, M. F. J. 2005. Nuevos alimentos. Realidad y perspectivas de la carne y sus derivados como alimentos funcionales. *Derivados cárnicos funcionales: Estrategias y Perspectivas*, 43-54 p.

- Sánchez, R. S., López, L. F. J., Carreno, L. 2011. Interleucinas en la fisiopatología de la artritis reumatoide: más allá de las citocinas proinflamatorias. *Reumatología Clínica*, 6: 20-24.
- Santos, S., J., Bessa, R. J. B., Santos, S. F. 2002. Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs: II. Fatty acid composition of meat. *Livestock Production Science*, 77(2): 187-194.
- Schmid, A., Collomb, M., Sieber, R., Bee, G. 2006. Conjugated linoleic acid in meat and meat products: A review. *Meat Science*, 73(1): 29-41.
- Serrano, A., Librelotto, J., Cofrades, S., Sánchez-Muniz, F. J., Jiménez-Colmenero, F. 2007. Composition and physicochemical characteristics of restructured beef steaks containing walnuts as affected by cooking method. *Meat Science*, 77(3): 304-313.
- Shirouchi, B., Nagao, K., Inoue, N., Ohkubo, T., Hibino, H., Yanagita, T. 2007. Effect of dietary omega 3 phosphatidylcholine on obesity-related disorders in obese Otsuka Long-Evans Tokushima fatty rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(17): 7170-7176.
- Shultz, T.D., Chew B.P., Seaman W., and Leudecke L.O. Inhibitory effect of conjugated linoleic acid and beta-carotene on the in Vitro Growth of Human cancer cells. *Cancer Lett.* 1992; 63: 125-133.
- Sinclair, L. A., Cooper, S. L., Chikunya, S., Wilkinson, R. G., Hallett, K. G., Enser, M., Wood, J. D. 2005. Biohydrogenation of n3 polyunsaturated fatty acids in the rumen and their effects on microbial metabolism and plasma fatty acid concentrations in sheep. *Animal Science*, 81: 239–248.
- Sinclair, L. A., Weerasinghe, W. M., Wilkinson, R. G., de Veth, M. J., Bauman, D. E. 2010. A supplement containing *trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid reduces milk fat yield but does not alter organ weight or body fat deposition in lactating ewes. *The Journal of Nutrition*, 140(11): 1949-1955.
- Smith, S. B., Lunt, D. K., Chung, K. Y., Choi, C. B., Tume, R. K., Zembayashi, M. 2006. Adiposity, fatty acid composition, and delta-9 desaturase activity during growth in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 77(5): 478-486.
- Song, H. J., Grant, I., Rotondo, D., Mohede, I., Sattar, N., Heys, S. D., Wahle, K. W. J. 2005. Effect of CLA supplementation on immune function in young healthy volunteers. *European Journal of Clinical Nutrition*, 59(4): 508-517.

- Soto, R. I., Pulido, C. E., Hernández, D. G., Alexander, A. A., Garcia, H. S. 2011. A CLA enriched diet improves organ damage associated with the metabolic syndrome in spontaneous hypertensive rats. *Grasas y Aceites*, 62(1): 49-54.
- Subbiah, M. R. (2008). Understanding the nutrigenomic definitions and concepts at the food-genome junction. *OMICS A Journal of Integrative Biology*, 12(4), 229-235.
- Sugano, M., Tsujita, A., Yamasaki, M., Noguchi, M., Yamada, K. 1998. Conjugated linoleic acid modulates tissue levels of chemical mediators and immunoglobulins in rats. *Lipids*, 33(5), 521-527.
- Suplicy, H. L., & Fiorin, D. 2012. Diabetes mellitus tipo 2. *Revista Brasileira de Medicina*, 69(12).
- Tolman, K. G., Fonseca, V., Dalpiaz, A., Tan, M. H. 2007. Spectrum of liver disease in type 2 diabetes and management of patients with diabetes and liver disease. *Diabetes Care*, 30(3): 734-743.
- Trout, K. K., Homko, C., Tkacs, N. C. 2007. Methods of measuring insulin sensitivity. *Biological Research for Nursing*, 8(4): 305-318.
- Valenzuela, S. A. R., Montero Lagunas, M., Juárez Lagunas, F. I. 2009. Contenido de ácidos grasos y conjugados del ácido linoleico en carne de bovinos-Fatty acids and conjugated. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 10(10): 1-84.
- Wachira, A. M., Sinclair, L. A., Wilkinson, R. G., Enser, M., Wood, J. D., Fisher, A. V. 2002. Effects of dietary fat source and breed on the carcass composition, n-3 polyunsaturated fatty acid and conjugated linoleic acid content of sheep meat and adipose tissue. *British Journal of Nutrition*, 88(06): 697-709.
- Wyness, L., Weichselbaum, E., O'Connor, A., Williams, E. B., Benelam, B., Riley, H., Stanner, S. 2011. Red meat in the diet: an update. *Nutrition Bulletin*, 36(1): 34-77.
- Wynn, R. J., Daniel, Z. C. T. R., Flux, C. L., Craigon, J., Salter, A. M., Buttery, P. J. 2006. Effect of feeding rumen-protected conjugated linoleic acid on carcass characteristics and fatty acid composition of sheep tissues. *Journal of Animal Science*, 84(12): 3440-3450.
- Yu, L. 2001. Free radical scavenging properties of conjugated linoleic acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(7): 3452-3456.

Yu, Y., Correll, P. H., Heuvel, J. V. 2002. Conjugated linoleic acid decreases production of pro-inflammatory products in macrophages: evidence for a PPAR γ -dependent mechanism. *Biochimica et Biophysica Acta -Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1581(3): 89-99.

CAPÍTULO II
PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN CARNE DE CORDEROS PELIBUEY
CPMPLEMENTADOS CON ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO PROTEGIDO

Rafael Espinoza Marín, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el perfil de ácidos grasos en carne de corderos Pelibuey complementados con ácido linoleico conjugado protegido. Se utilizaron muestras de carne tomadas del músculo *Longissimus dorsi*, entre la 12^{va} y 13^{va} costilla, provenientes de 24 corderos Pelibuey en finalización, con edad y peso inicial y final promedio de 2.3 meses, 22.3 kg y 38.6 kg, respectivamente. Los animales fueron alojados en jaulas metabólicas individuales, y distribuidos homogéneamente en cuatro grupos de seis animales cada uno, y cada grupo asignado aleatoriamente a uno de cuatro tratamientos: 1) dieta base con 0, 2) 25, 3) 50, y 4) 75 g de ácido linoleico conjugado protegido (ALCp) animal⁻¹ d⁻¹. Las variables evaluadas fueron el perfil de ácidos grasos en grasa dorsal, carne cruda y cocida y *barbacoa*. Se utilizó un diseño completamente al azar, utilizando el PROC GLM y la prueba de Tukey para la comparación de medias. Adicionalmente se utilizaron polinomios y contrastes ortogonales a fin de determinar comportamiento lineal, cuadrático y cúbico de los resultados, así como la diferencia entre los diferentes contrastes entre tratamientos. Los resultados evidenciaron ($P < 0.05$) que los animales que consumieron 75 g d⁻¹ de ALC, la concentración de los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 incrementó en carne cruda y cocida, pero en grasa dorsal y *barbacoa* solamente el isómero *trans*-10, *cis*-12 y *cis*-9, *trans*-11 incrementaron linealmente, respectivamente. Los promedios en carne cruda para los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 fueron 0.71 y 0.19% cuando se agregó ALCp, comparado con 0.59 y 0% cuando no se incluyó ALCp. En carne cocida, los promedios del *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 fueron 0.63 y 0.18% cuando se agregó ALCp en la dieta, y 0.38 y 0% cuando no se incluyó ALCp, respectivamente. Los resultados demuestran que el ALCp en la dieta de corderos, incrementa el contenido de los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 en carne cruda y cocida y en menor proporción en *barbacoa* y grasa dorsal.

Palabras clave: isómeros del ácido linoleico conjugado, carne, perfil de ácidos grasos.

FATTY ACID PROFILE IN MEAT OF PELIBUEY LAMBS FED PROTECTED CONJUGATED LINOLEIC ACID

Rafael Espinoza Marín, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the fatty acid profile of Pelibuey lambs meat. Animals were fed with different levels of ruminally-protected conjugated linoleic acid in the diet. Meat samples were taken from *Longissimus dorsi* muscle, between the 12th and 13th rib, from 24 finishing Pelibuey lambs, averaging 2.3 months age, and 22.3 and 38.6 kg, of initial and final live-weight, respectively. Animals were housed in individual metabolic cages and distributed homogenously into four groups of six animals each, then each group was randomly assigned to one of four treatments: 1) basal diet with 0, 2) 25, 3) 50, and 4) 75 g of protected conjugated linoleic acid (CLAp) animal⁻¹ d⁻¹. Fatty acid profile in back fat, raw and cooked meat, and *barbacoa*, was evaluated. A completely random design using PROC GLM was used, and mean comparison were done using the Tukey test. Additionally, contrasts and orthogonal polynomial were used in order to determine a linear, quadratic and cubic effect of the results, and so the difference between those contrasts (pCLA (g d⁻¹): 0 vs 25, 50 y 75; 25 vs 50; 0 y 25 vs 50 y 75). The results showed (P<0.05) that adding CLAp to the lambs diet, particularly the one with 75g d⁻¹ of CLAp, increased the concentration of the isomers *cis*-9, *trans*-11 and *trans*-10, *cis*-12, in raw and cooked meat, but not in back fat, in *barbacoa* just the isomer *trans*-10, *cis*-12 increased linearly. The averages in raw meat for *cis*-9, *trans*-11 and *trans*-10, *cis*-12 were 0.71 and 0.19%, when CLAp was added, compared to 0.59 and 0%, without CLAp. While the averages in cooked meat for both isomers, were 0.63 and 0.18% with CLAp, compared to 0.38 and 0% without CLAp, respectively. The results show that the protected conjugated linoleic acid in the lambs diet increases the content of the *cis*-9, *trans*-11 and *trans*-10, *cis*-12 in meat and cooked meat, and in less proportion on *barbacoa* or back fat.

Keywords: isomers of conjugated linoleic acid, meat, fatty acid profile.

INTRODUCCIÓN

Recientes estudios han demostrado una asociación entre el consumo de carne roja y procesada con el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y cáncer de colon (Kontogianni *et al.*, 2008; Cross *et al.*, 2010), siendo las primeras la principal causa de muerte en el mundo (Go *et al.*, 2013). El contenido graso y específicamente los ácidos grasos saturados (AGS) han sido señalados como responsables de estas afecciones (Bingham *et al.*, 2002; Cross *et al.*, 2011), adquiriendo así mayor atención, en particular aquellos ácidos grasos con isomería *trans* (Mozaffarian *et al.*, 2006), a los cuales se les atribuyen problemas cardiovasculares y de obesidad (FAO, 2010; OMS, 2012). Sin embargo, no es del todo cierto, ya que algunos de éstos, como el ácido linoleico conjugado (ALC), se caracteriza por su potencial efecto anticancerígeno (Rainer y Heiss, 2004) y lipolítico (Azain *et al.*, 2000; Lin *et al.*, 2010), mismo que ha sido poco estudiado en humanos, pero ampliamente reportados en animales de laboratorio (Rainer y Heiss, 2004). Consecuentemente, se ha generado incongruencia entre los resultados en humanos y animales, atribuidas a diferencias en el diseño experimental, incluyendo edad, sexo, dosis, y destino metabólico del ALC en seres humanos (Plourde *et al.*, 2008). El término ácido linoleico conjugado hace referencia a un conjunto de al menos 24 a 28 isómeros posicionales y geométricos del ácido linoleico (Jahreis *et al.*, 1999; Banni, 2002), que poseen dobles enlaces en posición conjugada, y en particular, los isómeros *cis-9*, *trans-11* y *trans-10*, *cis-12*, son los directamente relacionados con el potencial anticancerígeno y lipolítico, respectivamente (Pariza *et al.*, 2001; Dhiman *et al.*, 2005). Los isómeros del ALC forman una pequeña proporción de la fracción lipídica que se encuentra principalmente en carne y productos lácteos de ganado bovino y ovino (Churrua *et al.*, 2009), por lo que su presencia en estos productos ha cobrado especial importancia. Boles *et al.* (2005) y Wood *et al.* (2008) sugieren que el perfil de ácidos grasos en rumiantes se mejora añadiendo ingredientes a la dieta con alto contenido de AGI, como los aceites de oleaginosas o de maíz, con la desventaja que éstos sufren el proceso de biohidrogenación ruminal, donde se hidrolizan por acción de diversas bacterias, siendo la *Butirivibrio fibrisolvens* la más común (Bauman *et al.* 2003). Ante esto es necesario su protección ruminal, aumentando así la concentración de ácidos grasos poli-insaturados en tejido muscular y graso de rumiantes. Es así como en ganado Holstein (Pappritz *et al.*, 2011; Ramírez

et al., 2013) y ovejas lecheras (Lock *et al.*, 2006; Sinclair *et al.*, 2010) se ha utilizado el ácido linoleico conjugado protegido (ALCp) con el objetivo de evaluar su efecto en el contenido graso y perfil de ácidos grasos en leche, obteniendo resultados favorables en este último, pero con la desventaja de disminuir el contenido graso por debajo del 3%, valor especificado como mínimo por la Norma Mexicana (NMX-F-700-COFOCALEC-2012). Esta disminución en el contenido graso en leche es negativa para la industria lechera, pero no para la cárnica, ya que ello representaría un beneficio para el consumidor final en términos de calidad nutricional y de salud. Al respecto, Gillis *et al.* (2004) reportan que suplementar 2% de ALCp en la dieta, conteniendo 31% de ALCp d⁻¹, disminuye la cantidad de ácidos grasos mono-insaturados en tejido adiposo e incrementa el porcentaje total de ALC y la proporción del isómero *trans-10, cis-12* en ganado bovino. Por su parte, Wynn *et al.* (2006) reportaron que la inclusión de ALCp (25, 50, 100 g ALCp d⁻¹) en la dieta de corderos, aumenta las proporciones de los isómeros *cis-9, trans-11* y *trans-10, cis-12* en los tejidos del músculo, pero no reduce el contenido de grasa total de la carne. Esta inconsistencia en los resultados hasta ahora reportados, y dada la importancia del ALC en la salud humana, sugieren aumentar la investigación en esta área, particularmente en ovinos, cuya carne en México es demandada básicamente para su consumo en *barbacoa*. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el perfil de ácidos grasos de la grasa dorsal, carne cruda, cocida y en forma de *barbacoa* proveniente del músculo *Longissimus dorsi* de corderos Pelibuey complementados con ácido linoleico conjugado protegido.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Unidad Metabólica y Laboratorio de Nutrición Animal del Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Estado de México (19° 28' 4.26'' LN, 98° 53' 42.18'' LO, 2250 msnm). La precipitación y temperatura media anual de la zona es de 636.5 mm y 15.2°C, respectivamente (García, 2004).

Para este estudio se utilizaron muestras de carne tomadas del músculo *Longissimus dorsi*, entre la 12^{va} y 13^{va} costilla, provenientes de 24 corderos Pelibuey en finalización, con edad y peso inicial y final promedio de 2.3 meses, 22.3 kg y 38.6 kg, respectivamente. Detalles del manejo de los animales son descritos por Espinoza (2014), y se resume en lo siguiente: Los animales se distribuyeron homogéneamente en cuatro grupos de seis animales cada uno, y fueron alojados en jaulas metabólicas individuales. El periodo de engorda duró 60 días. Cada grupo de animales fue asignado al azar a cada uno de cuatro tratamientos que consistieron en 1) dieta base con 0, 2) 25, 3) 50, y 4) 75 g de ALCp animal⁻¹ d⁻¹. La dieta base se formuló de acuerdo a las tablas del NRC (2006) y estuvo compuesta (%) por grano de maíz 45.5, grano de sorgo 23.0, pasta de soya 12.0, rastrojo de maíz 14.2, melaza 2.0, premezcla de vitaminas y minerales (24, 3, 2, 8, 12, 0.50, 0.50 y 0.50% de Ca, P, Mg, Na, Cl, K, S y antioxidante; 2000, 5, 4000, 2000, 5000, 100, 30 y 60 ppm de lasolacida, Cr, Mn, Fe, Zn, I, Se y Co; 500 000, 150 000, 1000 UI de vitamina A, vitamina D y vitamina E, respectivamente) 2.0, urea 1.0, y sal común 0.31. La composición química fue materia seca 92%, proteína 15.5%, fibra detergente neutro 21.1%, fibra detergente ácido 8.9%, y cenizas 5.7%. La digestibilidad total de la materia seca de la dieta fue 83.90%. El ALCp se ofreció dos veces al día en el alimento (50:50, mañana: tarde, respectivamente), y aportó 12.54% de *cis*-9, *trans*-11 y 12.75 % de *trans*-10, *cis*-12, 12.09% de palmítico (C16:0), 48.39% de esteárico (C18:0), 12.58% de oleico (C18:1n-9*cis*), 1.04% de linoleico (C18:2n-6*cis*) y 0.58% de araquídico (C20:0) (Lutrell[®] Pure, BASF, Alemania).

Las variables evaluadas fueron perfil de ácidos grasos en muestras de grasa dorsal, carne cruda, cocida y preparada en forma de *barbacoa*.

El perfil de ácidos grasos fue determinado en muestras de grasa dorsal, carne cruda, cocida y *barbacoa*. Para ello se utilizó la técnica de metilación, modificada de Sukhija y Palmquist (1988), Palmquist y Jenkins (2003) y Jenkins (2010), en el cual los ácidos grasos se presentan en forma de metil ésteres. Se pesaron 0.5 g de muestra de carne y 0.2 g de grasa, y se colocaron en

tubos de polipropileno, a los cuales se les agregó 3 ml de metóxido de sodio (0.5 M en metanol para proteger el proceso de isomerización de los ácidos grasos insaturados), agitándose por 1 min en un vórtex. Una vez agitados, los tubos de carne y/o grasa se colocaron en un vaso de precipitado con agua destilada a 50°C durante 10 min, y cumplido este tiempo, dichos tubos fueron retirados del vaso de precipitado, dejándose enfriar por 5 min a 24°C. A los tubos con las muestras frías se les agregaron 3 ml de ácido clorhídrico metanólico al 5% para la extracción de la grasa total de las muestras y nuevamente se agitaron por 1 min en un vórtex. Posteriormente, los tubos volvieron a colocarse dentro del vaso de precipitado con agua destilada, a 80°C por 10 min. Terminado este tiempo, los tubos fueron retirados nuevamente del vaso de precipitado y se dejaron enfriar por 7 min. Una vez enfriados, a los tubos se les agregaron 3.5 ml de hexano para disolver y extraer únicamente la grasa y 5 ml de carbonato de potasio al 6% para saponificar y liberar los ácidos grasos, para después agitarlos durante 1 min en un vórtex, y posteriormente centrifugar por 5 min a 2500 x g. Posteriormente se extrajo la fracción de hexano, ubicada en la parte superior en el tubo, y se depositó en tubos de polipropileno, agregando 0.5 g de sodio para eliminar el exceso de humedad y 0.1 g de carbón activado para eliminar el exceso de color, y se agitó nuevamente en un vórtex, y después se centrífugo a 1500 x g por 5 min. Al final, se tomó la capa de hexano ubicada en la parte superior en el tubo, y se colocó en viales que se conservaron en refrigeración a 4°C para su posterior análisis cromatográfico. Los metil ésteres de ácidos grasos se determinaron en un cromatógrafo Hewlett Packard 6890 con inyector automático con una columna capilar de sílice (100 m x 0.25 mm x 0.20 µm de grosor, Sp-2560, Supelco). La identificación de los ácidos grasos se realizó comparando los tiempos retención de cada pico obtenido del cromatograma, con un estándar de 37 componentes de metil ésteres de ácidos grasos, y un estándar específico para isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 de la compañía Nu-Check.

Los datos fueron analizados para un diseño completamente al azar, utilizando el PROC GLM y la prueba de Tukey para la comparación de medias entre tratamientos (SAS, 2004). El modelo estadístico fue: $Y_{ij} = \mu + t_i + E_{ij}$ Donde:

Y = Variable dependiente; $i = 1, 2, 3, 4$ tratamientos. $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ repeticiones.

μ = Media general

t_i = Efecto del tratamiento

E_{ij} = Error aleatorio; $E_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

Adicionalmente se utilizaron polinomios y contrastes ortogonales a fin de determinar el comportamiento lineal, cuadrático y cúbico de los resultados, así como la diferencia entre los diferentes contrastes entre tratamientos, en aquellas variables que demostraron alguno de los efectos arriba mencionados, los contrastes utilizados fueron (ALCp (g d^{-1}): 0 vs 25, 50 y 75; 25 vs 50; 0 y 25 vs 50 y 75).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Perfil de ácidos grasos de la carne

Los resultados del perfil de ácidos grasos medido en grasa dorsal, carne cruda, carne cocida y *barbacoa*, se muestran en los Cuadros 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

Grasa dorsal

La inclusión de ALCp en la dieta de corderos, no afectó ($P>0.05$) el perfil de ácidos grasos en grasa dorsal (Cuadro 1), a excepción del isómero *trans*-10, *cis*-12, el cual fue mayor con la dosis de 75 g d^{-1} de ALCp comparado con el tratamiento testigo, además los polinomios ortogonales evidenciaron que este isómero tuvo un efecto lineal ($P=0.02$) (Figura 1). Los ácidos grasos identificados fueron mirístico, palmítico, heptadecanoico, esteárico, palmitoleico, oleico, elaídico, linoleico, *cis*-9, *trans*-11, cuyos promedios fueron 3.92, 24.52, 3.93, 13.79, 3.11, 34.53, 7.28, 3.01 y 0.98%, respectivamente. Los ácidos grasos en mayor proporción en grasa dorsal fueron palmítico, esteárico y oleico, los cuales en su conjunto suman el 72.84% del total de los ácidos grasos, siendo el ácido oleico el más alto.

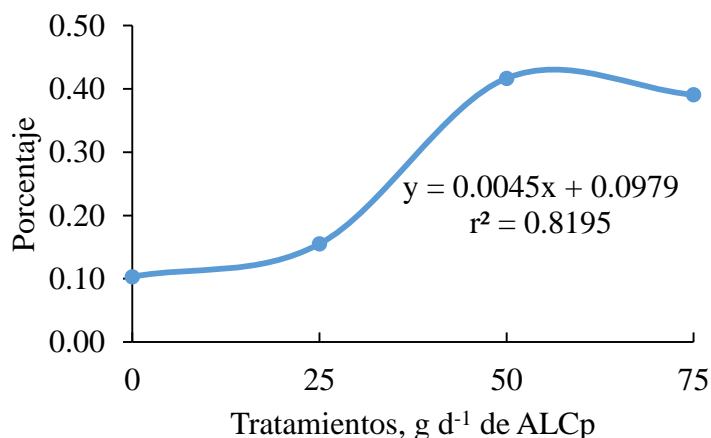


Figura 1. Contenido del isómero *trans*-10, *cis*-12 en grasa dorsal de corderos, por efecto de incluir ALCp en la dieta.

La curva estimada del isómero *trans*-10, *cis*-12 (Figura 1), hace evidente el incremento gradual de dicho isómero en animales que recibieron ALCp en la dieta. Además dicho

incremento coincide con lo reportado por Gillis *et al.* (2004) y Wynn *et al.* (2006) en tejido adiposo de vaquillas y corderos, quienes también reportaron incrementos en el isómero *cis*-9, *trans*-11 en los mismos tejidos. En contraste, Sinclair *et al.* (2010) reportaron reducción de ambos isómeros en muestras de grasa perirrenal de ovejas lactantes. Esta situación indica que el ALCp en la dieta de corderos incrementa la cantidad del isómero *trans*-10, *cis*-12, en grasa dorsal, sugiriendo además que la dosis no fue suficiente para evidenciar la reducción del isómero *cis*-9, *trans*-11. Los resultados para ácido mirístico no se esperaban, ya que algunos autores como Sinclair *et al.* (2010), señalan que la suplementación con 40 g d⁻¹ de ALC en la dieta de ovejas lecheras, disminuye en más del 49% de ácidos grasos de cadena corta, aquéllos menor a 16 carbonos. Sin embargo, dado que este resultado se encontró en leche, se infiere que el ALC no ejerce el mismo efecto en todos los tejidos. Para el caso del ácido palmítico (C16:0), similares resultados fueron reportados por Mir *et al.* (2000), Wynn *et al.* (2006) y Sinclair *et al.* (2010), en tejido adiposo, diafragma, pierna, costilla, hígado y músculo de *Longissimus dorsi* de ovinos, al suplementar ALCp en la dieta.

Respecto al ácido esteárico (C18:0), Wynn *et al.* (2006) y Sinclair *et al.* (2010) reportaron resultados similares en muestras de tejido adiposo, hígado y músculo *Longissimus dorsi*, de ovinos y ovejas lecheras, al suplementar con 100 y 40 g d⁻¹ de ALCp en la dieta, respectivamente. Del mismo modo, Gillis *et al.* (2004) no observaron diferencias entre tratamientos para el C18:0 en muestras de tejido adiposo proveniente de ganado bovino, al suplementar con 2% de ALCp en la dieta. En contraste, Sinclair *et al.* (2010) observaron que el C18:0 incrementó (P=0.02) por efecto del ALC en muestras de hígado de ovejas lecheras, y Mir *et al.* (2000) reportaron que el C18:0 disminuyó significativamente (P<0.05) en tejido adiposo de corderos, pero no en diafragma, pierna, costilla e hígado, cuando agregaron 0.33 g d⁻¹ de ALCp en la dieta, situación que fue atribuida al efecto del ALC en tejido adiposo.

Por su parte, Gillis *et al.* (2004) tampoco observaron diferencias entre tratamientos para el ácido heptadecanoico al suplementar 2% de ALCp en la dieta, pero en ganado bovino, como ocurrió con los ácidos grasos saturados C14:0, C16:0, y C17:0. El no haber encontrado efecto significativo (P>0.05), también puede ser atribuido al tejido correspondiente, ya que se ha demostrado que el ALC no funciona del mismo modo en los diferentes tejidos.

Para el ácido palmitoleico (C16:1), resultados similares fueron reportados por Gillis *et al.* (2004) en tejido adiposo de ganado bovino, pero diferentes a los reportados por Wynn *et al.*

(2006) en tejido subcutáneo de corderos, donde se observó que el contenido de C16:1 disminuyó por efecto del ALCp en dieta. Del mismo modo, Sinclair *et al.* (2010) reportaron diferencias ($P<0.01$) por efecto del ALC, pero en muestras de grasa perirrenal e hígado de ovejas lecheras, donde el ALCp también disminuyó el contenido del ácido palmítico. A este respecto, Park *et al.* (2000), Smith *et al.* (2002) y Wynn *et al.* (2006) reportan que en aquellos tejidos donde el ALC inhibe la actividad de la delta (Δ) 9-desaturasa, los niveles de los ácidos palmitoleico y oleico se reducen, situación que no fue observada en el presente estudio en las muestras de grasa dorsal, donde ninguno de los ácidos grasos mencionados se redujeron ($P<0.05$), al menos no con las dosis de ALC usadas en este experimento.

Cuadro 1. Perfil de ácidos grasos de grasa dorsal de corderos Pelibuey complementados con ácido linoleico conjugado protegido.

Metil ésteres de ácidos grasos, %	Niveles de ácido linoleico conjugado protegido en la dieta, g d ⁻¹					
	0	25	50	75	*EEM	P
Saturados						
Mirístico (C14:0)	3.84	3.89	3.70	4.28	0.179	0.724
Palmítico (C16:0)	24.14	25.37	25.70	24.88	0.432	0.946
Heptadecanoico (C17:0)	3.98	3.66	3.97	4.12	0.265	0.946
Esteárico (C18:0)	11.81	14.47	15.17	13.65	1.005	0.704
Monoinsaturados						
Palmitoleico (C16:1)	3.41	3.08	2.96	2.98	0.187	0.836
Oleico (C18:1n-9 <i>cis</i>)	35.63	35.22	33.16	34.12	0.907	0.793
Elaídico (C18:1n-9 <i>trans</i>)	8.27	6.44	7.36	7.044	0.489	0.635
Poli-Insaturados						
Linoleico (C18:2n-6 <i>cis</i>)	3.16	3.03	3.17	2.69	0.124	0.505
<i>Cis</i> -9, <i>Trans</i> -11	0.94	0.85	1.10	1.10	0.050	0.391
<i>Trans</i> -10, <i>Cis</i> -12	0.10 ^b	0.15 ^{ab}	0.48 ^{ab}	0.34 ^a	0.052	0.028
Total de Ácidos Grasos, %						
Saturados	43.82	46.40	47.56	46.91	0.927	0.529
Monoinsaturados	47.32	44.75	43.48	44.15	0.806	0.373
Poli-insaturados	4.21	4.04	4.67	4.14	0.178	0.631
Totales	95.36	95.21	95.72	95.24	0.595	0.991

*EEM=Error estándar de la media.

Respecto al contenido del ácido oleico en grasa dorsal, que no fue afectada por el ALC en dieta, fue diferente al encontrado en muestras de carne cruda y cocida del músculo *Longissimus dorsi* (Cuadro 2 y 3). Sinclair *et al.* (2010) tampoco observaron diferencias por efecto del ALCp, en grasa perirrenal de ovejas lactantes, con dosis de 40 g d⁻¹ de ALC. Del mismo modo, Gillis *et al.* (2004) no reportaron cambios en el contenido del ácido oleico por efecto de agregar 2% ALCp en la dieta en tejido adiposo. En contraste, Wynn *et al.* (2006) reportaron una disminución en el contenido del ácido oleico en tejido subcutáneo, grasa omental y grasa perirrenal, por acción del ALCp en la dieta, con dosis de hasta 100 g d⁻¹. Es importante enfatizar que en tejido adiposo, la enzima $\Delta 9$ -desaturasa es la encargada de insertar un doble enlace en la novena posición del grupo carboxilo del ácido esteárico para formar oleico, y que el isómero *trans*-10, *cis*-12 del ALC es el encargado de inhibir la expresión del gen que codifica para $\Delta 9$ -desaturasa (Choi *et al.*, 2002; Smith *et al.*, 2002), por lo que el no haber observado una reducción en la variable oleico puede ser atribuido a la dosis del ALC ofrecido, la cual pudo no haber sido suficiente como para inhibir la acción de la $\Delta 9$ -desaturasa. Se observó un comportamiento similar para el ácido eláidico (C18:1n-9*trans*) y linoleico (C18:2n-6*cis*), resultado que contrasta con Wynn *et al.* (2006), quienes reportan que suplementar ALCp en la dieta de corderos, reduce las concentraciones de ácidos grasos insaturados en tejido adiposo e hígado, por lo que el ácido graso C18:1n-9*trans*, por ser un ácido mono-insaturado, y de configuración *trans*, su contenido en grasa dorsal también sería afectado de la misma manera que el ácido oleico, y en todo caso, resultaría no benéfico, dado su relación con un incremento en el índice de colesterol, principalmente al aumento de lipoproteínas de baja densidad (Brouwer *et al.*, 2010), lo cual no es deseable por ser un riesgo para la salud humana.

El isómero *cis*-9, *trans*-11 del ALC que fue identificado en grasa dorsal de corderos, no fue diferente ($P > 0.05$) entre tratamientos. Estos resultados fueron inesperados, ya que algunos autores (Gillis *et al.*, 2004; Wynn *et al.*, 2006) han reportado que el ALCp en la dieta de bovinos y corderos, aumenta el contenido de ambos isómeros, en tejido adiposo, tal y como se observó en la carne cruda y cocida (Cuadros 2 y 3) de este estudio. Por su lado, Sinclair *et al.* (2010), reportaron una disminución ($P < 0.001$) en ambos isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 del ALC, en muestras de grasa perirrenal de ovejas lactantes.

Respecto al total de ácidos grasos, los saturados representaron el 46.18%, los monoinsaturados el 44.93% y los poli-insaturados 4.27% de los ácidos grasos totales en la grasa

dorsal, superior en 5.2%, 0.7% y 55.2% al encontrado en carne cruda del músculo *Longissimus dorsi*, respectivamente. Este aparente incremento se debe a que en grasa dorsal no se identificaron los ácidos grasos linolénico y araquidónico, y a que el método utilizado para identificar los ácidos grasos fue cualitativo, no cuantitativo, por ello la ausencia de éstos en la grasa dorsal afecta el porcentaje total de ácidos grasos, en especial a los poli-insaturados. En referencia al contenido de ácidos grasos en grasa dorsal por efecto del ALC, Gillis *et al.* (2004) reportaron que los ácidos grasos saturados y mono-insaturados en tejido adiposo de vaquillas Angus x Hereford, no se modificaron a los 32 días de suplementación con 2% de ALCp, pero el contenido de ácidos grasos poli-insaturados incrementó con la adición de ALCp. En general, estos resultados contrastan con estudios realizados en ratas (Sisk *et al.*, 2001), hámster (Bouthegeourd *et al.*, 2002), cerdos (Ostrowska *et al.*, 2003), ovejas lecheras (Sinclair *et al.*, 2010) y en humanos (Gauillier *et al.*, 2007). En estos últimos se ha demostrado que la suplementación de ALC (3 a 4 g d⁻¹, durante 24 semanas) en personas con sobrepeso y obesidad, disminuye la grasa corporal, por lo que se puede esperar una reducción en el contenido de lípidos en tejido adiposo por acción del ALC, situación que no fue observada en los animales del presente estudio. A este respecto, Wynn *et al.* (2006) observaron que alimentar corderos con ALCp reduce la concentración de ácidos mono-insaturados en tejido adiposo, especialmente oleico y palmitoleico. Sin embargo, los autores no evidenciaron cambios en los niveles del ARNm de la enzima $\Delta 9$ -desaturasa, por lo que el efecto fue atribuido a la inhibición de la actividad de dicha enzima. Lo anterior indica que el ALC puede ejercer un efecto lipolítico en tejidos adiposos, y que posiblemente la dosis utilizada de ALCp en el presente estudio, no fue suficiente para generar la inhibición de la actividad y de la expresión del ARNm de la $\Delta 9$ -desaturasa, y en consecuencia modificar el perfil de ácidos grasos en grasa dorsal.

Carne cruda

Para el caso de la carne cruda, solamente los ácidos grasos mirístico, oleico, y los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12, fueron afectados ($P < 0.05$) por la inclusión de ALCp en la dieta (Cuadro 2). En el caso de ambos isómeros, así como palmítico, esteárico, eláidico y linolénico además se observó un efecto lineal ($P = 0.0007$, < 0.0001 , $P = 0.04$, $P = 0.03$, $P = 0.05$ y $P = 0.05$ respectivamente), cuando se analizó con polinomios ortogonales. Cuando los ácidos grasos se

agruparon en saturados, mono-insaturados, poli-insaturados y totales, solamente los dos primeros fueron diferentes ($P < 0.05$) entre tratamientos.

El contenido del ácido mirístico (C14:0), que promedió 3.28% fue mayor ($P > 0.05$) en las muestras de carne de animales que consumieron 75 g d⁻¹ de ALCp en la dieta, en comparación con aquellos que no consumieron. Este resultado fue contrario a lo esperado, ya que se ha reportado que la suplementación con 40 g d⁻¹ de ALCp en la dieta de ovejas lecheras, causa disminución en más del 49% de ácidos grasos de cadena corta en leche (Sinclair *et al.*, 2010), atribuido a una reducción en la síntesis de *novo* de los ácidos grasos con menos de 16 carbonos y de los C16:0 y C16:1, por acción del isómero *trans*-10, *cis*-12, el cual inhibe la expresión del ARNm de la enzimas involucradas en la síntesis de lípidos en glándula mamaria, entre éstas la acetil CoA carboxilasa, ácido graso sintetasa, glicerofosfato aciltransferasa, acilglicerofosfato aciltransferasa, lipoproteína lipasa, $\Delta 5$, $\Delta 6$ y $\Delta 9$ desaturasas (Baumgard *et al.*, 2002). Estos resultados sugieren que el isómero *trans*-10, *cis*-12 del ALC no ejerce el mismo efecto en glándula mamaria y en músculo *Longissimus dorsi*, donde hasta nuestro conocimiento no ha sido reportado. Sin embargo, lo anterior toma especial importancia, debido a que el ácido mirístico incrementa la resistencia a la insulina y los niveles de colesterol plasmático, incrementando el riesgo de enfermedades cardiovasculares en seres humanos (Lovejoy *et al.*, 2001; Etherton y Yu, 1999 citado por German y Dillard, 2004).

El ácido oleico (C18:1-9*cis*) disminuyó ($P < 0.05$) en la carne de animales que recibieron ALCp, independientemente de la concentración, con una media de 36.01%, en comparación con aquéllos sin ALCp, cuyo promedio fue 40.31%, similar a lo observado por Gillis *et al.* (2004) y Wynn *et al.* (2006), pero en tejido adiposo de vaquillas y corderos complementados con ALCp en la dieta, respectivamente. Los autores antes mencionados argumentan que el ALC inhibe la acción de la $\Delta 9$ -desaturasa, específicamente por acción del isómero *trans*-10, *cis*-12. Por esta razón, el grupo de corderos que no recibió ALCp en el presente estudio, presentó los niveles más altos de C18:1-9*cis* en carne cruda, en comparación con aquellos animales que recibieron los niveles más altos (50 y 75 g d⁻¹) de ALCp. Al respecto, se ha reportado que el ácido oleico es el ácido graso mayoritario en todos los depósitos, y llega a alcanzar valores promedio de 40% en grasa subcutánea y tejido muscular, valor similar al obtenido en el presente estudio cuando no se agregó ALCp en la dieta. La disminución del oleico por la adición de ALC, pudo deberse a la inhibición que ejerce dicho ácido en la actividad de la enzima $\Delta 9$ -desaturasa, la cual a su vez

actúa sobre el ácido esteárico (Martínez *et al.*, 2010), el cual aumentó linealmente (P=0.03) a medida que se incrementó el nivel de ALCp. Es pertinente mencionar que el ácido esteárico es desaturado a oleico por la $\Delta 9$ -desaturasa (Grinari *et al.*, 2000), por ello al incrementar el nivel del esteárico, es natural que el ácido oleico disminuya.

Cuadro 2. Perfil de ácidos grasos de carne cruda del músculo *Longissimus dorsi* de corderos Pelibuey complementados con ácido linoleico conjugado protegido.

Metil ésteres de ácidos grasos %	Niveles de ácido linoleico conjugado protegido en la dieta, g d ⁻¹					
	0	25	50	75	*EEM	P
Saturados						
Mirístico (C14:0)	2.60 ^b	3.24 ^{ab}	3.44 ^{ab}	3.85 ^a	0.153	0.022
Palmítico (C16:0)	24.38	24.98	26.65	26.07	0.391	0.142
Heptadecanoico (C17:0)	1.57	1.52	1.44	1.46	0.086	0.963
Esteárico (C18:0)	12.13	13.60	13.49	14.99	0.460	0.140
Monoinsaturados						
Palmitoleico (C16:1)	2.69	2.70	2.65	2.29	0.083	0.247
Oleico (C18:1n-9 <i>cis</i>)	40.32 ^a	38.44 ^{ab}	35.64 ^{bc}	33.95 ^c	0.710	0.002
Elaídico (C18:1n-9 <i>trans</i>)	4.70	4.59	4.82	5.70	0.191	0.149
Poli-insaturados						
Linoleico (C18:2n-6 <i>cis</i>)	6.64	5.68	6.70	6.66	0.242	0.392
Linolénico (C18:3n-6)	0.16	0.15	0.16	0.18	0.005	0.134
<i>Cis</i> -9, <i>Trans</i> -11	0.59 ^b	0.64 ^{ab}	0.73 ^a	0.76 ^a	0.029	0.007
<i>Trans</i> -10, <i>Cis</i> -12	-	0.10 ^b	0.22 ^{ab}	0.26 ^a	0.025	<0.000
Araquidónico (C20:4n-6)	2.60	1.85	2.18	1.91	0.127	0.136
Total de ácidos grasos, %						
Saturados	40.48 ^b	43.34 ^{ab}	45.03 ^a	46.36 ^a	0.607	0.001
Monoinsaturados	47.70 ^a	45.74 ^{ab}	43.11 ^{bc}	41.94 ^c	0.635	0.001
Poli-insaturados	9.93	8.42	9.99	9.79	0.337	0.313
Totales	98.11	97.50	98.13	98.09	0.181	0.568

*EEM=Error Estándar de la Media.

^{abc} Medias con literales distintas en cada fila son diferentes.

La curva estimada para los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12, mostradas en la Figura 2, sustentan el resultado obtenido con la prueba de Tukey y polinomios ortogonales, en donde ambos isómeros presentan diferencias entre tratamientos y un incremento lineal en aquellos animales que recibieron los tratamientos de ALCp en la dieta. Los promedios de ambos isómeros fueron 0.71% y 0.19% cuando se agregó ALCp, y fueron mayores comparados con 0.59% y 0% cuando no se incluyó ALCp. Es importante enfatizar que el isómero *trans*-10, *cis*-

12, no fue observado en muestras de carne, cuando los animales no recibieron ALCp en la dieta. El contenido del isómero *cis*-9, *trans*-10, cuya proporción fue mayor al *trans*-10, *cis*-12, fue mayor en carne de animales que consumieron 50 y 75 g d⁻¹ de ALCp, en tanto que el isómero *trans*-10, *cis*-12 fue mayor en muestras de carne de los animales que consumieron 75 g d⁻¹ de ALC. Estos resultados son muy similares a los encontrados por Sinclair *et al.* (2010), quienes reportaron un incremento en ambos isómeros del ALC, en muestras de músculo *Longissimus dorsi* de ovejas lactantes, suplementadas con 15 y 40 g d⁻¹ de ALC en la dieta. Del mismo modo, Wynn *et al.* (2006) observaron un incremento en el contenido de ambos isómeros del ALC, en músculo, hígado y tejido adiposo de corderos alimentados con 25, 50 y 100 g kg⁻¹ de dieta. Lo anterior sugiere que alimentar corderos con ALCp enriquece el contenido de ambos isómeros del ALC en músculo *Longissimus dorsi*.

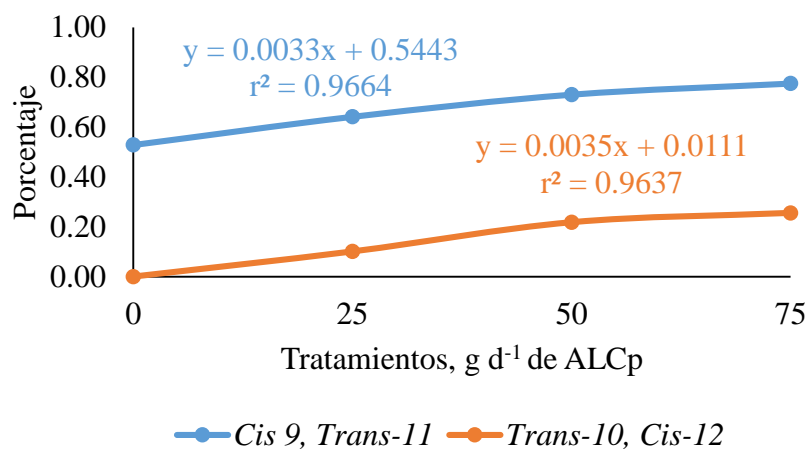


Figura 2. Contenido de los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 en carne cruda, por efecto de incluir ALCp en la dieta.

En referencia al ácido palmítico (C16:0), que incremento linealmente (P=0.04) su contenido con las dosis crecientes de ALCp en la dieta, fue diferente a lo reportado por Mir *et al.* (2000), Wynn *et al.* (2006) y Sinclair *et al.* (2010) quienes no observaron diferencias en diafragma, pierna, costilla, tejido adiposo e hígado de corderos, al suplementar dosis crecientes de ALCp en la dieta. Los resultados anteriores sugieren que los tratamientos de ALCp en la dieta de corderos, hasta 75 g d⁻¹, no ejercen efecto alguno en el ácido palmítico. Sin embargo, el hecho de encontrar efecto lineal (P=0.04), sugiere que con dosis de ALCp en la dieta más altas a las utilizadas en el

presente estudio, el contenido del C16:0 pudiera incrementar, como sucedió con el ácido mirístico.

El ácido esteárico (C18:0), que incrementó linealmente ($P=0.03$) con la adición de ALCp, fue similar al reportado por Sinclair *et al.* (2010), quienes observaron un incremento de dicho ácido al agregar 40 g d⁻¹ de ALCp en la dieta, en muestras de hígado de ovejas lecheras, pero no en músculo *Longissimus dorsi*. En contraste, Gillis *et al.* (2004) y Wynn *et al.* (2006) no observaron diferencias entre tratamientos para el esteárico en bovinos y ovinos, al suplementar ALCp en la dieta. Por su parte, Mir *et al.* (2000) reportaron que el ácido esteárico, disminuyó ($P<0.05$) en tejido adiposo de corderos, pero no en diafragma, pierna, costilla e hígado, cuando agregaron 0.33 g d⁻¹ de ALCp en la dieta, situación que fue atribuida al efecto del ALC en tejido adiposo. Es pertinente enfatizar que el ácido esteárico es desaturado a ácido oleico por la enzima $\Delta 9$ -desaturasa en intestino, tejido adiposo, glándula mamaria e hígado (Griinari *et al.*, 2000; Daniel *et al.*, 2004) y a pesar que hasta nuestro conocimiento no se ha reportado su efecto en músculo *Longissimus dorsi*, es lógico pensar que el incremento lineal ($P=0.03$) observado para el C18:0, pudo haber ser causa de la acción del isómero *trans*-10, *cis*-12 del ALC en la $\Delta 9$ -desaturasa, debido a que se observó un descenso ($P=0.001$) en la síntesis del ácido oleico, con las dosis más altas de ALCp en la dieta (50 y 75 g d⁻¹).

El ácido elaídico (C18:1n-9*trans*) incrementó linealmente ($P=0.05$), cuyo contenido fue mayor ($P=0.03$) en muestras de carne de animales que consumieron 50 y 75 g d⁻¹ de ALCp en comparación con los que recibieron 0 y 25 g d⁻¹, fue similar a lo observado en carne cocida (Cuadro 3). Este hecho es indicativo que la inclusión de ALCp en la dieta, modifica la concentración del elaídico negativamente para la salud del consumidor, dada su relación relaciona con problemas cardiovasculares (Brouwer *et al.*, 2010).

Respecto al ácido linolénico (C18:3n-6) se observó un efecto cuadrático ($P=0.05$), donde a dosis más elevadas de ALCp en la dieta, pudiera incrementar su contenido, contrario a lo que reportan Sinclair *et al.* (2010) al agregar ALCp en la dieta de ovejas lactantes. El resultado encontrado en el presente estudio es de especial importancia, ya que el linolénico es precursor de los ácidos eicosapentaenóico (EPA) y docosahexaenóico (DHA), los cuales son vitales en el organismo. Además, el ácido linolénico es considerado esencial para el organismo, ya que no puede ser sintetizado por el ser humano (Carrero *et al.*, 2005).

El ácido heptadecanoico (C17:0) no fue diferente entre tratamientos ($P>0.05$), situación que coincide con lo reportado por Gillis *et al.* (2004) en vaquillas, quienes no observaron diferencias entre tratamientos por efecto de suplementar 2% de ALCp en la dieta. Estos resultados indican que el ácido C17:0 parece no ser afectado por el ALC, situación que coincide con lo reportado por Sinclair *et al.* (2010) quienes reportan que el ALC disminuye hasta en un 50% los ácidos grasos con cadena igual o menor a 16 carbonos.

En relación al ácido palmitoleico (C16:1) y araquidónico (C20:4n-6), tampoco se observaron diferencias por efecto del ALCp en la dieta de corderos. A este respecto, Sinclair *et al.* (2010) igualmente encontraron que el ácido palmitoleico no fue afectado por el ALCp en la dieta en músculo *Longissimus dorsi* de ovejas lactantes. Sinclair *et al.* (2010) reportaron diferencias ($P<0.001$) para el ácido palmitoleico, pero en muestras de hígado, con menor contenido en muestras de carne de los animales que consumieron ALC en la dieta. Al respecto, Wynn *et al.* (2006) reportaron que suplementar ALCp en la dieta de corderos, disminuye significativamente la concentración del ácido palmitoleico en muestras de hígado ($P<0.05$) y músculo *Longissimus* ($P<0.001$). Park *et al.* (2000), Smith *et al.* (2002) y Wynn *et al.* (2006) demostraron que cuando el ALC inhibe la actividad de la $\Delta 9$ -desaturasa, los niveles de los ácidos palmitoleico y oleico disminuyen. Misma situación fue observada por Sinclair *et al.* (2010), pero en el presente estudio solamente se observó reducción ($P=0.001$) en el contenido del ácido oleico, posiblemente porque la dosis de ALCp ofrecida en la dieta no fue suficiente para inhibir por completo la acción de la $\Delta 9$ -desaturasa en el músculo estudiado.

Respecto al total de los ácidos grasos, los saturados representaron el 43.80%, los monoinsaturados el 44.62% y los poli-insaturados el 9.53%. El porcentaje de ácidos grasos saturados fue superior en un 12.69% en la carne de corderos alimentados con 75 g d⁻¹ de ALCp, comparados con aquéllos que no consumieron ALCp. En sentido contrario, el contenido de ácidos grasos mono-insaturados fue mayor en un 12.08% en corderos alimentados sin ALCp en la dieta, en comparación con aquéllos que consumieron 75 g d⁻¹ de ALCp. Lo anterior sugiere que los niveles crecientes de ALCp en la dieta, incrementan el porcentaje de ácidos grasos saturados y disminuyen los ácidos grasos mono-insaturados en el músculo *Longissimus dorsi*, situación no deseable, ya que a los ácidos grasos saturados se les ha relacionado con problemas cardiovasculares (Duarte y Scorza, 2004; Carrero *et al.*, 2005). El descenso en el contenido de los ácidos grasos monoinsaturados se atribuye a la acción del isómero *trans*-10, *cis*-12 en la

enzima $\Delta 9$ -desaturasa y a la reducción en la expresión del ARNm de esta enzima (Lee *et al.* 1998), ya que este isómero es más eficaz en la inhibición de la $\Delta 9$ -desaturasa que el isómero *cis-9, trans-11* (Park *et al.* 2000). Los resultados del presente estudio, coinciden con lo reportado por Dugan *et al.* (2003), quienes reportaron que alimentar cerdos con 0.25% y 0.50% de ALC en la dieta, aumenta la cantidad de ácidos grasos saturados ($P < 0.05$) y reduce los mono-insaturados ($P < 0.05$) en grasa dorsal. Cooper *et al.* (2001), Eggert *et al.* (2001) y Dugan *et al.* (2003) señalan que el aumento en ácidos grasos saturados y reducción de monoinsaturados se relaciona con la firmeza de la carne, situación que puede no ser aceptada por el consumidor, ya que se asocia con una carne dura, lo que no se reflejó en los resultados aquí presentes, donde no se registraron diferencias entre tratamientos asociados a la resistencia al corte discutida en el capítulo siguiente. Esto se debe a la edad de los animales, ya que en corderos jóvenes, como los utilizados en el presente estudio, la resistencia al corte es menor debido a la menor cantidad de tejido conectivo (Lawrie y Ledward, 2006).

Carne cocida

El perfil de ácidos grasos para carne cocida fue diferente entre tratamientos ($P < 0.05$) únicamente para los ácidos esteárico, palmitoleico, oleico, elaídico, *cis-9, trans-11* y *trans-10, cis-12*, cuyo promedios fueron 13.68, 2.50, 38.19, 4.58, 0.50 y 0.10%, respectivamente (Cuadro 3). Cabe mencionar que los isómeros *cis-9, trans-11* y *trans-10, cis-12* además mostraron un efecto lineal ($P = 0.0003$ y $< .0001$, respectivamente) (Figura 3).

En su conjunto los ácidos grasos palmítico, esteárico y oleico representaron el 76.15% del total de ácidos grasos, siendo el ácido oleico el de mayor proporción. El resto de los ácidos grasos identificados sin diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos fueron el ácido mirístico (C14:0), palmítico (C16:0), heptadecanoico (C17:0), linoleico (C18:2n-6*cis*), linolénico (C18:3n-6) y araquidónico (C20:4n-6), cuyos promedios fueron 2.91, 24.64, 1.31, 13.68, 7.26, 0.16 y 2.48%, respectivamente. Sin embargo, el análisis con polinomios ($P = 0.02$) y contrastes ortogonales ($P = 0.02$) demostró un efecto lineal positivo para el ácido mirístico, siendo menor su contenido en las muestras de carne cocida de los animales que no consumieron ALCp, con respecto a los que si recibieron ALCp en la dieta. Para el caso del ácido linolénico, cuando se utilizaron polinomios ortogonales en el análisis estadístico, se observó un incremento lineal ($P = 0.02$), donde los

contrastes ($P=0.02$) indican que las muestras de carne tuvieron mayor contenido de ácido linolénico cuando se aportaron 50 y 75 g d⁻¹ de ALCp, que con 0 y 25 g d⁻¹ de ALCp en la dieta. Para el total de los ácidos grasos, solamente los saturados y mono-insaturados fueron diferentes ($P<0.05$) entre tratamientos.

El ácido esteárico (C18:0) fue mayor en las muestras de carne de los animales alimentados con 75 g d⁻¹ de ALCp en comparación con aquellos que recibieron 0 y 25 g d⁻¹ de ALCp en la dieta, cuya media fue similar al encontrado en carne cruda, sugiriendo que este resultado se debe básicamente a que el isómero *trans*-10, *cis*-12 inhibe la acción de la enzima $\Delta 9$ -desaturasa para sintetizar oleico a partir de esteárico. Lo anterior hace pensar que no hubo efecto de ningún factor externo como la temperatura y el tiempo de cocción, que aunque no fueron medidas, Alfaia *et al.* (2010) argumentan éstos afectan la estructura química de los ácidos grasos. Los mismos autores, encontraron un incremento ($P<0.05$) en el contenido del C18:0, de 16.66 en carne cruda de bovinos a 18.20, 18.69 y 17.65 %, en carne cocinada en agua hirviendo (80 °C durante 60 minutos), micro-ondas (750 W a dos ciclos de calentamiento de 1 min 45 s) y a la parrilla (225°C), respectivamente.

Los ácidos palmitoleico y oleico (C18:1-9*cis*) disminuyeron significativamente ($P<0.05$) en las muestras de carne de los animales que recibieron ALCp. El primero disminuyó mayormente con la dosis de 75 g d⁻¹ de ALCp que con 25 g d⁻¹; mientras el segundo se redujo independientemente de las dosis de ALCp en la dieta. Gillis *et al.* (2004) y Wynn *et al.* (2006) también encontraron disminución del C18:1-9*cis* por efecto del ALC en tejido adiposo, pero no en músculo *Longissimus dorsi*. Por su parte, Sinclair *et al.* (2010) reportaron que el ácido palmitoleico disminuyó ($P<0.001$) en muestras de hígado de animales complementados con ALC en la dieta. Estos resultados indican que el ácido oleico disminuye por acción del ALC, además el resultado en carne cocida fue similar al observado en carne cruda, por lo que se hipotetiza que la temperatura de cocción y el tiempo no afectaron el contenido del oleico como se mencionó en el párrafo anterior. A este respecto, Alfaia *et al.* (2010) observaron que la proporción del ácido oleico disminuyó en muestras de carne cocida en comparación con muestras de carne cruda, argumentando que los isómeros del ALC incluidos en la dieta de los animales, pudieron haber proporcionado protección antioxidante al ácido oleico.

Cuadro 3. Perfil de ácidos grasos de carne cocida del músculo *Longissimus dorsi* de corderos Pelibuey complementados con ácido linoleico conjugado protegido.

Metil ésteres de ácidos grasos, %	Niveles de ácido linoleico conjugado protegido en la dieta, g d ⁻¹				*EEM	P
	0	25	50	75		
Saturados						
Mirístico (C14:0)	2.54	2.88	3.14	3.10	0.982	0.106
Palmítico (C16:0)	24.14	24.77	24.80	24.87	0.327	0.865
Heptadecanoico (C17:0)	1.28	1.32	1.23	1.42	0.056	0.721
Estearico (C18:0)	12.71 ^b	12.55 ^b	14.48 ^{ab}	15.00 ^a	0.386	0.038
Mono-insaturados						
Palmitoleico (C16:1)	2.58 ^{ab}	2.82 ^a	2.42 ^{ab}	2.17 ^b	0.087	0.048
Oleico (C18:1n-9cis)	40.55 ^a	39.95 ^{ab}	37.12 ^{bc}	35.14 ^c	0.605	0.000
Elaídico (C18:1n-9trans)	3.81 ^b	4.31 ^{ab}	4.64 ^{ab}	5.58 ^a	0.223	0.026
Poli-Insaturados						
Linoleico (C18:2n-6cis)	7.29	6.74	7.45	7.58	0.291	0.780
Linolénico (C18:3n-6)	0.15	0.15	0.16	0.20	0.008	0.076
<i>Cis</i> -9, <i>Trans</i> -11	0.38 ^b	0.38 ^b	0.61 ^a	0.64 ^a	0.035	0.001
<i>Trans</i> -10, <i>Cis</i> -12	-	0.04 ^b	0.17 ^a	0.19 ^a	0.021	<0.000
Araquidónico (C20:4n-6)	2.77	2.25	2.46	2.47	0.160	0.747
Total de ácidos grasos, %						
Saturados	40.66 ^b	41.51 ^{ab}	43.65 ^{ab}	44.39 ^a	0.532	0.029
Monoinsaturados	46.95 ^a	47.08 ^a	44.18 ^{ab}	42.89 ^b	0.552	0.005
Poli-insaturados	10.59	9.56	10.85	11.08	0.446	0.669
Totales	98.20	98.16	98.68	98.36	0.192	0.785

*EEM= Error Estándar de la Media

^{abc} Medias con literales distintas en cada fila son diferentes.

El ácido elaídico (C18:1n-9trans) fue mayor (P<0.05) con 75 g d⁻¹ de ALCp en comparación con aquéllos que no recibieron ALCp. Hasta nuestro conocimiento no existe información reportada al respecto; sin embargo este resultado fue similar al encontrado en carne cruda, donde hubo efecto lineal, sugiriendo entonces que el ALC en dosis mayores a las utilizadas en el presente estudio el contenido del elaídico puede incrementar.

El comportamiento lineal de los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 que se muestran en la Figura 3, corroboran los resultados encontrados con la prueba de Tukey y polinomios ortogonales, donde los isómeros referidos fueron mayores en muestras de carne cocida de animales que consumieron ALCp. La proporción del isómero *cis*-9, *trans*-10 fue mayor en las

muestras de carne de aquellos animales que recibieron 50 y 75 g d⁻¹ de ALCp, comparados con aquellos que consumieron 0 y 25 g d⁻¹ ALCp en la dieta. Es importante mencionar que el isómero *trans*-10, *cis*-12 no fue observado en muestras de carne del tratamiento sin ALCp. De manera similar, Wynn *et al.* (2006) reportaron que los isómeros *cis*-9, *trans*-10 y *trans*-10, *cis*-12 incrementaron en muestras músculo *Longissimus*, hígado, tejido subcutáneo, grasa omental y perirrenal al agregar ALC en la dieta de corderos. Estos resultados sugieren que alimentar corderos con ALCp enriquece el contenido de ambos isómeros, *cis*-9, *trans*-10 y *trans*-10, *cis*-12 del ALC, en músculo *Longissimus dorsi*.

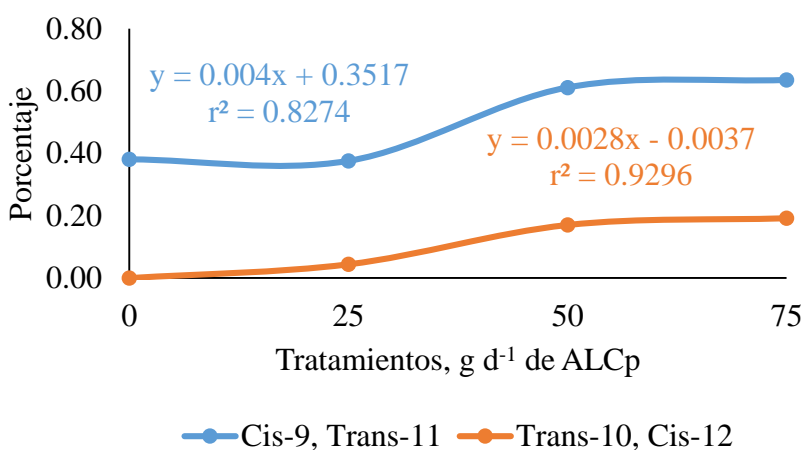


Figura 3. Contenido de los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 del ALC, por efecto de incluir ALCp en la dieta.

El ácido mirístico (C14:0) que incrementó linealmente (P=0.02) al adicionar ALCp en la dieta, fue mayor (P=0.02) en muestras de carne cocida de los animales que consumieron ALCp. Este mismo resultado se observó en carne cruda (Cuadro 2), donde dicho ácido incrementó con respecto a las dosis crecientes de ALCp, como lo encontrado por Gillis *et al.* (2004) en tejido adiposo de vaquillas. Dicho comportamiento contrasta con los reportados por Sinclair *et al.* (2010), quienes argumentan que el ALC disminuye en un 50% los ácidos grasos en leche de ovejas complementadas con ALCp, debido básicamente a que el ALC no ejerce el mismo efecto en glándula mamaria y otros tejidos.

Para el caso del ácido linolénico, es interesante observar que cuando se utilizaron polinomios ortogonales en el análisis estadístico, hubo un incremento lineal ($P=0.02$), donde los contrastes ($P=0.02$) indicaron que las muestras de carne tuvieron mayor contenido de ácido linolénico cuando se aportaron 50 y 75 g d⁻¹ de ALCp, en la dieta. Resultados diferentes a los reportados por Sinclair *et al.* (2010), donde no observaron diferencias en el contenido del linolénico en muestras de *Longissimus dorsi* de ovejas lactantes complementadas con ALCp. Sin embargo, esta situación fue similar a lo observado en carne cruda (Cuadro 2), sugiriendo que una dosis superior a 75 g d⁻¹ de ALCp en la dieta, puede incrementar el contenido del linolénico.

Respecto al total de los ácidos grasos, los saturados representaron el 42.55%, los monoinsaturados el 45.27% y los poli-insaturados el 10.51%. El porcentaje de ácidos grasos saturados fue superior en un 8.4% en la carne de corderos alimentados con 75 g d⁻¹ de ALCp, en comparación con aquéllos que consumieron 0% de ALCp. Contrariamente, el contenido de ácidos grasos monoinsaturados fue mayor en un 8.6% en corderos que no recibieron ALCp en la dieta, en comparación con aquéllos que consumieron 75 g d⁻¹ de ALCp. Como en carne cruda, los niveles crecientes de ALCp en la dieta, contribuyeron a incrementar el porcentaje de ácidos grasos saturados y a disminuir el contenido de ácidos grasos monoinsaturados en la carne cocida del músculo *Longissimus dorsi*, situación no deseable, por su relación con problemas cardiovasculares (Duarte y Scorza, 2004; Carrero *et al.*, 2005). Los resultados anteriores muestran que el ALC, congruente con lo reportado por Alfaia *et al.* (2010) tienen un efecto protector al evitar la oxidación de los ácidos grasos insaturados, resultando benéfico para la salud, en especial por el potencial anticancerígeno y lipolítico del ALC, además de los beneficios que conlleva el consumo de ácidos grasos insaturados con respecto a los saturados.

Barbacoa

El ANOVA y la prueba de Tukey no evidenciaron diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos en el perfil de ácidos grasos de la *barbacoa* (Cuadro 4). Sin embargo, cuando se utilizaron contrastes ortogonales en el análisis estadístico, se observó que el contenido del ácido mirístico y *cis*-9, *trans*-11 fueron mayores ($P=0.04$ y $P=0.03$, respectivamente), y el heptadecanoico menor ($P=0.02$), en las muestras de los animales que recibieron ALCp, comparado con aquellos que si recibieron ALCp. El contenido del ácido araquidónico fue menor ($P=0.03$) cuando se agregó 25

g d⁻¹ de ALCp en la dieta comparado con la dosis de 50 g d⁻¹ de ALCp. En tanto que los polinomios ortogonales demostraron que los ácidos oleico y linoleico tuvieron un comportamiento lineal (P=0.01) y cúbico (P=0.05), respectivamente. El resto de los ácidos grasos identificados fueron palmítico, esteárico, palmitoleico, elaídico, linolénico y *trans*-10, *cis*-12, cuyos promedios fueron 25.12, 13.97, 2.49, 4.89, 0.18 y 0.12%, respectivamente. Los ácidos grasos determinados en mayor proporción en *barbacoa* fueron el palmítico, esteárico y oleico, y en conjunto suman el 77.10% del total de los ácidos grasos, siendo el ácido oleico el más alto en la *barbacoa*. Cuando los ácidos grasos se agruparon, los contrastes ortogonales mostraron que el contenido de ácidos grasos saturados fue menor (P=0.01), en las muestras de *barbacoa* de los animales que no recibieron ALCp en la dieta. En los monoinsaturados se observó un efecto lineal (P=0.02), disminuyendo con respecto a las dosis más altas de ALCp. En tanto que los ácidos grasos poli-insaturados tuvieron un comportamiento cúbico (P=0.05), donde el contenido del poli-insaturados desciende con la dosis de 25 g d⁻¹ de ALCp en la dieta, para luego incrementarse cuando se agregaron 50 g d⁻¹, y posteriormente descender con la dosis de 75 g d⁻¹

El contenido del ácido mirístico fue similar a lo encontrado en carne cruda y cocida, iguales a los documentados por Gillis *et al.* (2004), pero en tejido adiposo de vaquillas. Estos resultados contrastan con los reportados por Sinclair *et al.* (2010), quienes señalan que el ALC disminuye en un 50% los ácidos grasos en leche de ovejas complementadas con ALCp. Lo anterior confirma que el ALC no ejerce el mismo efecto en glándula mamaria y otros tejidos y que además el ALC incrementa la proporción del ácido mirístico en músculo *Longissimus dorsi* de corderos. Esto resulta contraproducente debido a que el ácido mirístico incrementa la resistencia a la insulina y los niveles de colesterol plasmático (Lovejoy *et al.*, 2001; Etherton y Yu, 1999 citado por German y Dillard, 2004). Es importante enfatizar que aunque la temperatura no fue evaluada en el presente estudio, ésta no afectó la concentración del ácido mirístico, ya que su proporción fue similar a la obtenida en carne cruda, posiblemente por ser un ácido graso saturado, los cuales son más estables a la oxidación que los insaturados (Bou *et al.*, 2001). A este respecto, es importante tomar en consideración que la temperatura (82.22 a 90.17°C) y el tiempo (6 h en promedio) a la cual la *barbacoa* es cocinada (Vázquez, 2009; Rubio *et al.*, 2004), parecen no generar cambios en el porcentaje del ácido graso mirístico.

Para el caso del isómero *cis*-9, *trans*-11 del ALC, los contrastes ortogonales indicaron mayor contenido ($P=0.03$) en las muestras de *barbacoa* de los animales que recibieron ALCp, en comparación con el resto de los tratamientos. Este resultado es similar al encontrado en carne cruda y cocida, donde el *cis*-9, *trans*-11 fue mayor en las muestras de carne de los animales alimentados con niveles de crecientes de ALCp e indican que el isómero *cis*-9, *trans*-11 parece no ser afectado por la temperatura, situación que no ocurre con el resto de los ácidos grasos poliinsaturados, en condiciones normales donde el ALC no está presente, ya que los ácidos poliinsaturados son más sensibles a la oxidación que los saturados, debido a sus dobles ligaduras. Este comportamiento de estabilidad del ALC en condiciones térmicas ya ha sido observado con anterioridad por Alfaia *et al.* (2010).

El ácido heptadecanoico (C17:0) tuvo un comportamiento lineal ($P=0.02$) negativo, donde dicho ácido graso disminuyó con la adición de ALCp en la dieta, situación no observada en carne cruda, cocida ni grasa dorsal, y pudiera indicar que no hay relación con las dosis de ALCp ofrecidas a corderos, pero otros factores como la temperatura y el tiempo de cocción de la *barbacoa* pueden estar involucrados, a pesar de que no fueron estudiados en el presente estudio. Es importante tomar en consideración que el hecho de existir menor contenido del ácido heptadecanoico con la adición de ALC en la dieta, representa una desventaja, dado que dicho ácido graso forma parte de algunos tipos de fosfatidilcolinas y esfingomielinas, y éstos previenen la diabetes tipo 2 (Meikle *et al.*, 2013; Jenkins *et al.*, 2015).

En el caso del ácido araquidónico (C20:4n-6), cuando se analizó con el ANOVA y la prueba de Tukey no se encontraron diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos, pero analizando con contrastes ortogonales se observó que su nivel fue menor ($P=0.03$) cuando se agregaron 25 g d⁻¹ de ALCp, que cuando se agregaron 50 g d⁻¹ de ALCp en la dieta. Se puede inferir que no hay un efecto por parte del ALC en el C20:4n-6. No obstante, el haber observado diferencias en *barbacoa* y carne cruda utilizando contrastes ortogonales, nos da la premisa que el contenido del ácido C20:4n- C20:4n-6 puede ser afectado por el ALC, pero con niveles superiores a los utilizados en el presente estudio, situación que ha sido documentada por Banni (2002) quien observó que el ALC disminuyó el contenido total del ácido C20:4n-6, debido a que en estructura este ácido es similar al ácido linoleico y por lo tanto, interfiere en su metabolismo trayendo como consecuencia la disminución del araquidónico.

Cuadro 4. Perfil de ácidos grasos de carne en *barbacoa* de corderos Pelibuey complementados con ácido linoleico conjugado protegido.

Metil ésteres de ácidos grasos, %	Niveles de ácido linoleico conjugado protegido en la dieta, g d ⁻¹					
	0	25	50	75	*EEM	P
Saturados						
Mirístico (C14:0)	2.58	3.30	2.84	3.16	0.113	0.094
Palmítico (C16:0)	24.00	26.03	25.08	25.40	0.351	0.231
Heptadecanoico (C17:0)	1.58	1.30	1.22	1.30	0.057	0.113
Esteárico (C18:0)	12.63	14.49	14.49	14.27	0.434	0.381
Monoinsaturados						
Palmitoleico (C16:1)	2.71	2.58	2.40	2.28	0.097	0.441
Oleico (C18:1n-9 <i>cis</i>)	40.21	39.42	36.06	36.36	0.714	0.076
Elaídico (C18:1n-9 <i>trans</i>)	4.75	4.34	5.18	5.31	0.184	0.242
Poli-Insaturados						
Linoleico (C18:2n-6 <i>cis</i>)	6.46	5.24	7.35	7.16	0.340	0.108
Linolénico (C18:3n-6)	0.19	0.17	0.19	0.20	0.006	0.481
<i>Cis</i> -9, <i>Trans</i> -11	0.47	0.58	0.65	0.60	0.028	0.140
<i>Trans</i> -10, <i>Cis</i> -12	0.06	0.12	0.17	0.14	0.019	0.221
Araquidónico (C20:4n-6)	2.21	1.54	2.56	2.51	0.174	0.137
Total de Ácidos Grasos, %						
Saturados	40.79	45.11	43.62	44.13	0.617	0.067
Monoinsaturados	47.66	46.35	43.63	43.95	0.700	0.117
Poli-insaturados	9.39	7.65	10.92	10.61	0.519	0.097
Totales	97.85	99.11	98.18	98.69	0.355	0.636

*EEM=Error Estándar de la Media.

El ácido oleico (C18:1n-9*cis*) presentó un efecto lineal (P=0.01) negativo con respecto a las dosis crecientes de ALCp, similar a lo encontrado en carne cruda y cocida (Cuadro 2 y 3, respectivamente), donde se observó una reducción en los porcentajes del ácido oleico cuando se agregó la dosis más alta (74 g d⁻¹) de ALCp en la dieta. En tanto que el ácido linoleico (C18:2n-6*cis*) tuvo un comportamiento cúbico (P=0.05), indicando que al agregar 50 g d⁻¹ de ALCp en la dieta, se alcanza su nivel máximo y desciende con dosis de 75 g d⁻¹ de ALCp, situación que no sucedió en carne cruda, cocida ni grasa dorsal. Los resultados para los ácidos oleico y linoleico sugieren que con dosis de ALCp mayores a las utilizadas en el presente estudio, se puede disminuir el contenido del C18:1n-9*cis*. No obstante, el efecto cúbico observado en el linoleico

pudo ser causa de la temperatura de cocción, factor determinante ya que pudo enmascarar el efecto del ALC, siendo que las temperaturas para cocinar la *barbacoa* de forma artesanal oscilan entre 82.2 y 91.6 °C (Vázquez, 2009) y que los ácidos grasos insaturados son más rápidamente oxidados que los saturados, debido a la inestabilidad de las dobles ligaduras (Bou *et al.*, 2001).

Los resultados del ácido palmitoleico (C16:1) y elaídico (C18:1n-9*trans*), que tampoco mostraron diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$), fueron similares a los observados en carne cruda (Cuadro 2). Es pertinente observar que en carne cocida, el ácido C16:1 disminuyó significativamente ($P < 0.05$), en las muestras de carne de los animales que consumieron 75 g d⁻¹ de ALCp en la dieta. Wynn *et al.* (2006) señalan que suplementar ALCp en la dieta de corderos, disminuyó significativamente la concentración del ácido palmitoleico, en muestras de hígado ($P < 0.05$) y músculo *Longissimus* ($P < 0.001$). En este mismo sentido, Smith *et al.* (2002) y Wynn *et al.* (2006) demostraron que cuando el ALC inhibe la actividad de la $\Delta 9$ -desaturasa, los niveles de los ácidos palmitoleico y oleico disminuyen, situación que fue observada en el ácido oleico en carne cruda y cocida del presente estudio, pero el palmitoleico solamente disminuyó en carne cocida. A este respecto se asume que la temperatura de cocción afectó a dicho ácido, causando su disminución, que aunque la temperatura no fue evaluada, se ha reportado afecta los ácidos grasos insaturados (Yu, 2002; Alfaia *et al.*, 2010). Estas inconsistencias en resultados también pueden ser atribuidas a la dosis de ALC, la cual no fue suficientemente potente para generar diferencias estadísticas para los ácidos palmitoleico y elaídico en carne cruda y *barbacoa*.

En lo que respecta al total de ácidos grasos, los saturados representaron el 43.41%, los monoinsaturados 45.39% y los poli-insaturados 9.64% de los ácidos grasos totales, similar al obtenido en carne cruda y cocida. Estos resultados indican que el contenido de ácidos saturados, incrementa linealmente por efecto del ALCp, similar a lo observado en carne cruda y cocida, donde se hizo evidente el efecto del ALC con las dosis más altas. Al igual que sucedió en carne cruda y cocida, el porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados tuvo una tendencia a disminuir con respecto a las dosis crecientes de ALCp. En el caso de los poli-insaturados en *barbacoa* se observó un efecto cúbico, diferente a lo observado en carne cruda y cocida en donde no se observaron diferencias entre tratamientos. Esto sugiere que los ácidos grasos poli-insaturados pueden ser afectados más por factores ajenos al ALC, por ejemplo: la temperatura y el tiempo de cocción de la *barbacoa*, que a pesar de no haber sido variables estudiadas, afectan el contenido

lipídico de la carne cocida, sobre todo el contenido de insaturados (Alfaia *et al.*, 2010) y por lo tanto, es recomendable evaluar ambos factores en estudios subsecuentes.

CONCLUSIONES

En las condiciones en que se llevó a cabo el presente estudio, los resultados hacen evidente el beneficio de complementar con ácido linoleico conjugado protegido la dieta de corderos, al incrementar los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 en carne cruda y cocida; así como el *cis*-9, *trans*-11 en *barbacoa*, y el *trans*-10, *cis*-12 en grasa dorsal. Aunque con mayor concentración de ácidos grasos saturados y menor de mono-insaturados en carne cruda, cocida y *barbacoa*, particularmente con niveles altos de ácido linoleico conjugado. Este escenario deja un área del conocimiento amplia por explorar en la carne de ovinos, donde la salud humana es el objetivo principal.

REFERENCIAS

- Alfaia, C. M., Alves, S. P., Lopes, A. F., Fernandes, M. J., Costa, A. S., Fontes, C. M., Castro, M. L. F., Bessa, R. J. B., Prates, J. A. 2010. Effect of cooking methods on fatty acids, conjugated isomers of linoleic acid and nutritional quality of beef intramuscular fat. *Meat Science*, 84(4): 769-777.
- Azain, M. J., Hausman, D. B., Sisk, M. B., Flatt, W. P., Jewell, D. E. 2000. Dietary conjugated linoleic acid reduces rat adipose tissue cell size rather than cell number. *The Journal of Nutrition*, 130(6): 1548-1554.
- Banni, S. 2002. Conjugated linoleic acid metabolism. *Current Opinion in Lipidology*, 13(3): 261-266.
- Bauman, D. E., Corl, B. A., Peterson, D. G. 2003. The biology of conjugated linoleic acids in ruminants. *Advances in Conjugated Linoleic Acid Research*, 2: 146-173.
- Baumgard, L. H., Matitashvili, E., Corl, B. A., Dwyer, D. A., Bauman, D. E. 2002. *Trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid decreases lipogenic rates and expression of genes involved in milk lipid synthesis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 85(9): 2155-2163.
- Bingham, S. A., Hughes, R., Cross, A. J. 2002. Effect of white versus red meat on endogenous N-nitrosation in the human colon and further evidence of a dose response. *The Journal of Nutrition*, 132(11): 3522S-3525S.
- Boles, J. A., Kott, R. W., Hatfield, P. G., Bergman, J. W., Flynn, C. R. 2005. Supplemental safflower oil affects the fatty acid profile, including conjugated linoleic acid, of lamb. *Journal of Animal Science*, 83(9): 2175-2181.
- Bou, R., Guardiola, F., Grau, A., Grimpa, S., Manich, A., Barroeta, A., Codony, R. 2001. Influence of dietary fat source, α -tocopherol, and ascorbic acid supplementation on sensory quality of dark chicken meat. *Poultry Science*, 80(6): 800-807.
- Bouthegourd, J. C., Even, P. C., Gripois, D., Tiffon, B., Blouquit, M. F., Roseau, S., Lutton, C., Tomé, D., Martin, J. C. 2002. A CLA mixture prevents body triglyceride accumulation without affecting energy expenditure in Syrian hamsters. *The Journal of Nutrition*, 132(9): 2682-2689.
- Brouwer, I. A., Wanders, A. J., Katan, M. B. 2010. Effect of animal and industrial *trans* fatty acids on HDL and LDL cholesterol levels in humans—a quantitative review. *Plos One*, 5(3).

- Carrero, J. J., Martín-Bautista, E., Baró, L., Fonollá, J., Jiménez, J., Boza, J. J., López-Huertas, E. 2005. Efectos cardiovasculares de los ácidos grasos omega-3 y alternativas para incrementar su ingesta. *Nutrición Hospitalaria*, 20(1): 63-69.
- Choi, Y., Park, Y., Storkson, J. M., Pariza, M. W., Ntambi, J. M. 2002. Inhibition of stearoyl-CoA desaturase activity by the *cis*-9, *trans*-11 isomer and the *trans*-10, *cis*-12 isomer of conjugated linoleic acid in MDA-MB-231 and MCF-7 human breast cancer cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 294(4): 785-790.
- Churrua, I., Fernández, Q. A., Portillo, M. P. 2009. Conjugated linoleic acid isomers: differences in metabolism and biological effects. *Biofactors*, 35(1): 105-111.
- Cooper, T. R. L., Parrish, F. C., Sparks, J. C., Wiegand, B. R., Ewan, R. C. 2001. Conjugated linoleic acid changes swine performance and carcass composition. *Journal of Animal Science*, 79(7): 1821-1828.
- Cross, A. J., Ferrucci, L. M., Risch, A., Graubard, B. I., Ward, M. H., Park, Y., Hollenbeck, A. R., Schatzkin, A., Sinha, R. 2010. A large prospective study of meat consumption and colorectal cancer risk: an investigation of potential mechanisms underlying this association. *Cancer Research*, 70(6): 2406-2414.
- Cross, A. J., Freedman, N. D., Ren, J., Ward, M. H., Hollenbeck, A. R., Schatzkin, A., Sinha R., Abnet, C. C. 2011. Meat consumption and risk of esophageal and gastric cancer in a large prospective study. *The American Journal of Gastroenterology*, 106(3): 432-442.
- Daniel, Z. C. T. R., Wynn, R. J., Salter, A. M., Buttery, P. J. 2004. Differing effects of forage and concentrate diets on the oleic acid and conjugated linoleic acid content of sheep tissues: The role of stearoyl-CoA desaturase. *Journal of Animal Science*, 82(3): 747-758.
- Dhiman, T. R., Nam, S. H., Ure, A. L. 2005. Factors affecting conjugated linoleic acid content in milk and meat. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(6): 463-482.
- Duarte, M. A., & Scorza, T. 2004. Efecto de dietas suplementadas con ácidos grasos saturados o poli-insaturados sobre parámetros hematológicos hemostáticos y lipoproteicos: relación con modificaciones histológicas en aorta torácica y abdominal en conejos. *Acta Científica, Venezolana*, 55(3): 264-275.
- Dugan, M. E. R., Aalhus, J. L., Rolland, D. C., y Jeremiah, L. E. 2003. Effects of feeding different levels of conjugated linoleic acid and total oil to pigs on subsequent pork quality and palatability. *Canadian Journal of Animal Science*, 83(4): 713-720.

- Eggert, J. M., Belury, M. A., Kempa-Steczko, A., Mills, S. E., y Schinckel, A. P. 2001. Effects of conjugated linoleic acid on the belly firmness and fatty acid composition of genetically lean pigs. *Journal of Animal Science*, 79(11): 2866-2872.
- Espinoza Velasco, B. 2015. Ácido linoleico conjugado protegido en la dieta de borregos Pelibuey: Efecto en características productivas. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 93 p.
- FAO. 2010. Grasas y ácidos grasos en la nutrición humana. Fundación Iberoamericana de Nutrición. Granada, España, 175 p.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México, 91 p.
- Gaullier, J. M., Halse, J., Høivik, H. O., Høye, K., Syvertsen, C., Nurminiemi, M., Hassfeld, C., Einerhand, A., O'Shea, M., Gudmundsen, O. 2007. Six months supplementation with conjugated linoleic acid induces regional-specific fat mass decreases in overweight and obese. *British Journal of Nutrition*, 97(03): 550-560.
- German, J. B., & Dillard, C. J. 2004. Saturated fats: what dietary intake?. *The American journal of Clinical Nutrition*, 80(3): 550-559.
- Gillis, M. H., Duckett, S. K., Sackmann, J. R. 2004. Effects of supplemental rumen-protected conjugated linoleic acid or corn oil on fatty acid composition of adipose tissues in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 82(5): 1419-1427.
- Go, A. S., Mozaffarian, D., Roger, V. L., Benjamin, E. J., Berry, J. D., Borden, W. B., Bravata D. M., Turner, M. B. 2013. Executive summary: heart disease and stroke statistics: 2013 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*, 127(1): 143-146.
- Griinari, J. M., Corl, B. A., Lacy, S. H., Chouinard, P. Y., Nurmela, K. V. V., Bauman, D. E. 2000. Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by $\Delta 9$ -desaturase. *The Journal of Nutrition*, 130(9): 2285-2291.
- Jahreis, G., Fritsche, J., Möckel, P., Schöne, F., Möller, U., Steinhart, H. 1999. The potential anticarcinogenic conjugated linoleic acid, *cis*-9, *trans*-11 C18: 2, in milk of different species: cow, goat, ewe, sow, mare, woman. *Nutrition Research*, 19(10):1541-1549.
- Jenkins, B., West, J. A., Koulman, A. 2015. A Review of Odd-Chain Fatty Acid Metabolism and the Role of Pentadecanoic Acid (C15: 0) and Heptadecanoic Acid (C17: 0) in Health and Disease. *Molecules*, 20(2): 2425-2444.

- Jenkins, T. C. 2010. Technical note: Common analytical errors yielding inaccurate results during analysis of fatty acids in feed and digesta samples. *Journal of Dairy Science*, 93(3): 1170-1174.
- Kontogianni, M. D., Panagiotakos, D. B., Pitsavos, C., Chrysohoou, C., Stefanadis, C. 2008. Relationship between meat intake and the development of acute coronary syndromes: The CARDIO2000 case-control study. *European Journal of Clinical Nutrition*, 62(2): 171-177.
- Lawrie, R. A. y Ledward, D. A. 2006. *Lawrie's meat science*. Woodhead Publishing. Seventh English edition. Cambridge, England.
- Lee, K. N., Pariza, M. W., y Ntambi, J. M. 1998. Conjugated linoleic acid decreases hepatic stearoyl-CoA desaturase mRNA expression. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 248(3): 817-821.
- Lin, X., Liang, G., Su, P., Wang, Z. 2010. Effects of supplemental energy sources and *trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acids (CLA) on milk yield and composition in lactating Holstein cows. *Frontiers of Agriculture in China*, 4(1): 101-108.
- Lock, A. L., Teles, B. M., Perfield, J. W., Bauman, D. E., Sinclair, L. A. 2006. A conjugated linoleic acid supplement containing *trans*-10, *cis*-12 reduces milk fat synthesis in lactating sheep. *Journal of Dairy Science*, 89(5): 1525-1532.
- Lovejoy, J. C., Champagne, C. M., Smith, S. R., DeLany, J. P., Bray, G. A., Lefevre, M., Denkins, Y. M., Rood, J. C. 2001. Relationship of dietary fat and serum cholesterol ester and phospholipid fatty acids to markers of insulin resistance in men and women with a range of glucose tolerance. *Metabolism*, 50(1): 86-92.
- Mamani, L. L. W., y Gallo, C. 2013. Perfil de ácidos grasos de carne de ovino y caballo criados bajo un sistema de producción extensiva. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 24(3): 257-263.
- Martínez, M. A. L., Hernández, M. P., Alba, L. P., Castro, G. G. 2010. Metabolismo de los lípidos en los rumiantes-Lipid. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 1695, 7504.
- Meikle, P. J., Wong, G., Barlow, C. K., Weir, J. M., Greeve, M. A., MacIntosh, G. L., Almas, L., Comuzzie, A. G., Mahaney, M. C., Kowalczyk, A., Haviv, I., Grantham, N., Magliano, D. J., Jowett J. B. M., Zimmet, P., Curran, J. E., Blangero, J., Shaw, J. 2013. Plasma lipid profiling shows similar associations with prediabetes and type 2 diabetes. En:

- <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0074341>. Consultado el 20 de Agosto de 2015.
- Mir, Z., Rushfeldt, M. L., Mir, P. S., Paterson, L. J., Weselake, R. J. 2000. Effect of dietary supplementation with either conjugated linoleic acid (CLA) or linoleic acid rich oil on the CLA content of lamb tissues. *Small Ruminant Research*, 36(1): 25-31.
- NRC. 2006. Nutrient requirements of sheep. National Academy Press. Sixth Revised Edition. Washington, D. C. USA.
- OMS. 2012. Prevención y control de las enfermedades no transmisibles: aplicación de la estrategia mundial. 63a Asamblea de la Salud. Ginebra, Suiza, 17 p.
- Ostrowska, E., Suster, D., Muralitharan, M., Cross, R. F., Leury, B. J., Bauman, D. E., Dunshea, F. R. 2003. Conjugated linoleic acid decreases fat accretion in pigs: evaluation by dual-energy X-ray absorptiometry. *British Journal of Nutrition*, 89(02): 219-229.
- Palmquist, D. L., & Jenkins, T. C. 2003. Challenges with fats and fatty acid methods. *Journal of Animal Science*, 81(12): 3250-3254.
- Pappritz, J., Meyer, U., Kramer, R., Weber, E. M., Jahreis, G., Rehage, J., Flachowsky G., Dänicke, S. 2011. Effects of long-term supplementation of dairy cow diets with rumen-protected conjugated linoleic acids (CLA) on performance, metabolic parameters and fatty acid profile in milk fat. *Archives of Animal Nutrition*, 65(2): 89-107.
- Pariza, M. W., Park, Y., Cook, M. E. 2001. The biologically active isomers of conjugated linoleic acid. *Progress in Lipid Research*, 40(4): 283-298.
- Park, Y., Storkson, J. M., Ntambi, J. M., Cook, M. E., Sih, C. J., Pariza, M. W. 2000. Inhibition of hepatic stearyl-CoA desaturase activity by *trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid and its derivatives. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1486(2): 285-292.
- Plourde, M., Jew, S., Cunnane, S. C., Jones, P. J. 2008. Conjugated linoleic acids: why the discrepancy between animal and human studies?. *Nutrition Reviews*, 66(7): 415-421.
- PROY-NMX-F-700-COFOCALEC-(2012). Sistema Producto Leche – Alimento – Lácteo – Leche Cruda De Vaca – Especificaciones Fisicoquímicas, Sanitarias Y Métodos de Prueba.
- Rainer, L., & Heiss, C. J. 2004. Conjugated linoleic acid: health implications and effects on body composition. *Journal of the American Dietetic Association*, 104(6): 963-968.

- Ramírez, M. M., Hernández, M. O., Ramírez, B. E. J., Améndola, M. R. D., Crosby, G. M. M., Burgueño, F. J. A. 2013. Effect of vitamin E on milk composition of grazing dairy cows supplemented with microencapsulated conjugated linoleic acid. *Tropical Animal Health and Production*, 45(8): 1783-1788.
- Rubio, M. D. L. S., Torres, N., Gutierrez, J., Méndez, R. D. 2004. Composition and sensory evaluation of lamb carcasses used for the traditional Mexican lamb dish, “barbacoa”. *Meat science*, 67(2): 359-364.
- SAS. 2004. SAS/STAT User’s Guide (Release 9.1). Cary, NC, USA. SAS Institute Inc. Cary North Carolina. USA.
- Sinclair, L. A., Weerasinghe, W. M., Wilkinson, R. G., de Veth, M. J., Bauman, D. E. 2010. A supplement containing *trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid reduces milk fat yield but does not alter organ weight or body fat deposition in lactating ewes. *The Journal of Nutrition*, 140(11): 1949-1955.
- Sisk, M. B., Hausman, D. B., Martin, R. J., Azain, M. J. 2001. Dietary conjugated linoleic acid reduces adiposity in lean but not obese Zucker rats. *The Journal of Nutrition*, 131(6): 1668-1674.
- Smith, S. B., Hively, T. S., Cortese, G. M., Han, J. J., Chung, K. Y., Castenada, P., Gilbert, C. D., Adams, V. L., Mersmann, H. J. 2002. Conjugated linoleic acid depresses the δ desaturase index and stearoyl coenzyme A desaturase enzyme activity in porcine subcutaneous adipose tissue. *Journal of Animal Science*, 80(8): 2110-2115.
- Sukhija, P. S., & Palmquist, D. L. 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 36(6): 1202-1206.
- Vázquez, B. L., 2009. Eficiencia térmica en hornos de cocción de barbacoa. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 54 p.
- Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I., Hughes S. I., Whittington, F. M. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, 78(4): 343-358.
- Wynn, R. J., Daniel, Z. C. T. R., Flux, C. L., Craigon, J., Salter, A. M., Buttery, P. J. 2006. Effect of feeding rumen-protected conjugated linoleic acid on carcass characteristics and fatty acid composition of sheep tissues. *Journal of Animal Science*, 84(12): 3440-3450.

Yu, Y., Correll, P. H., Heuvel, J. V. 2002. Conjugated linoleic acid decreases production of pro-inflammatory products in macrophages: evidence for a PPAR γ -dependent mechanism. *Biochimica et Biophysica Acta-Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1581(3): 89-99.

CAPÍTULO III
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA CARNE Y DEPÓSITOS GRASOS
DE CORDEROS PELIBUEY COMPLEMENTADOS CON ÁCIDO LINOLEICO
CONJUGADO PROTEGIDO

Rafael Espinoza Marín, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar las características físico-químicas de la carne, y depósitos grasos en corderos Pelibuey alimentados con diferentes niveles de ácido linoleico conjugado protegido en la dieta. Se utilizaron muestras de carne del músculo *Longissimus dorsi*, de entre la 12^{va} y 13^{va} costilla, provenientes de 24 corderos Pelibuey en finalización, con edad, peso inicial y final de 2.3 meses, 22.3 kg y 38.6 kg en promedio, respectivamente. Los animales fueron alojados en jaulas metabólicas individuales, y distribuidos homogéneamente en cuatro grupos de seis animales cada uno, y cada grupo asignado aleatoriamente a uno de cuatro tratamientos: 1) dieta base con 0, 2) 25, 3) 50, y 4) 75 g de ácido linoleico conjugado protegido (ALCp) animal⁻¹ d⁻¹. Las variables evaluadas fueron grasa-dorsal, cabeza, sangre, extremidades, piel, vísceras verdes y rojas, contenido gastrointestinal, pH de la canal (sacrificio y *post mortem*), grasa-omental, grasa-mesentérica, grasa-perirrenal, grasa-pélvica, grasa-corazón, color, resistencia al corte, actividad del agua y capacidad de retención de agua. Se utilizó un diseño completamente al azar, usando el PROC GLM y la prueba de Tukey para la comparación de medias. No se observaron diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos en ninguna de las variables evaluadas. Los promedios para grasa dorsal, grasa-omental, grasa-mesentérica, grasa-perirrenal, grasa-pélvica, y grasa-corazón, fueron 3.20mm, 777g, 692g, 531g, 116g, y 58g, respectivamente. Los resultados muestran que incluir ácido linoleico conjugado en la dieta de corderos en crecimiento no ofrece beneficios en las características físico-químicas de la carne, ni en los depósitos grasos, indicando entonces que la cantidad de ALC utilizado en este estudio, no fue suficiente para generar efecto lipolítico.

Palabras clave: isómeros del ácido linoleico conjugado, carne, ácidos grasos.

**PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF MEAT AND DEPOT FAT OF
PELIBUEY LAMBS FED WITH PROTECTED CONJUGATED LINOLEIC ACID IN
THE DIET**

**Rafael Espinoza Marín, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2015**

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the physical-chemical characteristics of meat and depot fat from Pelibuey lambs fed with different levels of rumen-protected conjugated linoleic acid. Meat samples were taken from *Longissimus dorsi* muscle, between the 12th and 13th rib, from 24 finishing Pelibuey lambs, averaging 2.3 months age, and 22.3 and 38.6 kg, of initial and final live-weight, respectively. The animals were housed in individual metabolic cages and distributed homogenously into four groups of six animals each, and then each group was randomly assigned to one of four treatments: 1) basal diet with 0, 2) 25, 3) 50, and 4) 75 g of protected conjugated linoleic acid (CLAp) animal⁻¹ d⁻¹. Back fat, organ weight (head, blood, limbs, skin, green and red guts, gastrointestinal content), carcass pH at slaughtering and 24 h *post mortem*, omental fat, mesenteric fat, perirenal fat, pelvic fat, heart fat, color, texture, water activity and water holding capacity were determined. A completely random design using PROC GLM was used, and the mean comparison was done using the Tukey test. There were no significant differences ($P>0.05$) between treatments in any of the parameters evaluated. The averages for back fat, omental fat, mesenteric fat, perirenal fat, pelvic fat, heart fat, were 3.20mm, 777G, 692g, 531g, 116g and 58g, respectively. The results showed that CLAp did not decrease back fat, nor modified organs proportions or physical-chemical characteristics of the meat, showing that the amount of CLA used in this study was not enough to generate lipolytic effects.

Keywords: isomers of conjugated linoleic acid, meat, fatty acids.

INTRODUCCIÓN

El ácido linoleico conjugado (ALC) es un conjunto de al menos 28 isómeros geométricos y posicionales del ácido linoleico con enlaces dobles en posición conjugada (Bauman, 2003), y es producido en el rumen como intermediario en el proceso de biohidrogenación del ácido linoleico, por acción de bacterias (Bauman *et al.*, 2008) como *Butirivibrio fibrisolvens* (Griinari *et al.*, 2000). El ALC, también puede ser sintetizado de forma endógena en los tejidos de ovinos, a partir de ácido vaccénico (C18: 1*trans*-11), por acción de la esteril-CoA desaturasa (Griinari *et al.*, 2000). La importancia del ALC radica en su potencial efecto anticancerígeno y lipolítico, atribuido a sus isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 (Bauman *et al.*, 2006; Miller *et al.*, 2008), y particularmente el segundo, recientemente se ha demostrado su efecto en la disminución de grasa en leche de vacas, en donde inhibe hasta el 50% la síntesis (de Veth *et al.*, 2004). La disminución de grasa en leche ha sido obtenida cuando se adiciona ácido linoleico conjugado protegido del proceso de biohidrogenación (Corl *et al.*, 2001), en el que los lípidos de la dieta, en especial los ácidos grasos poli-insaturados son hidrolizados (Bauman *et al.*, 1999). Este mismo efecto también ha sido reportado en caprinos (Lock *et al.*, 2008; Shingfield *et al.*, 2009) y ovinos (Lock *et al.*, 2006; Sinclair *et al.*, 2007). Además, se ha demostrado que el ALC reduce la grasa corporal en varios depósitos grasos en distintas especies, incluyendo ratones, ratas, cerdos y seres humanos, efecto atribuido al mismo isómero *trans*-10, *cis*-12 (Wang y Jones, 2004). El efecto lipolítico del ALC puede mejorar la calidad nutricional de la carne de cordero, representando una ventaja para la industria cárnica, donde el consumidor final podría adquirir un producto mejorado en términos de calidad nutricional, que representaría un beneficio para el consumidor. Sin embargo, hasta nuestros días, los escasos estudios que se han llevado a cabo en ganado productor de carne, no han mostrado tal efecto lipolítico. Por ejemplo, Wynn *et al.* (2006), en la evaluaron del efecto de la suplementación del ALC protegido (p) en la dieta de corderos en crecimiento, encontraron que el ALC no reduce tejido adiposo en diferentes órganos. Del mismo modo, Gillis *et al.* (2004) reportaron que el ALCp tampoco afectó el contenido de grasa pélvica y renal en vaquillas. Por su lado, Sinclair *et al.* (2010) observaron que la suplementación con ALCp en la dieta de ovejas lactantes no afecta el peso de los órganos ni la composición de la canal. Los resultados del efecto lipolítico del ALC en diferentes depósitos grasos de rumiantes, contrastan con los reportados en no rumiantes, incluyendo humanos, en donde también es común encontrar

resultados inconsistentes entre ellos. Es pertinente mencionar que estos resultados son producto de la interacción de varios factores, como son la genética animal y el aspecto nutricional, y dada la importancia del ALC en la salud humana, es evidente la necesidad de profundizar en esta área de estudio, particularmente en ovinos, los cuales tienen potencial para depositar ALC en tejido muscular (Schmid *et al.*, 2006). Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar las características físico-químicas de la carne, y depósitos grasos en corderos Pelibuey complementados con diferentes niveles de ácido linoleico conjugado protegido.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Área Metabólica de Rumiantes y Laboratorio de Nutrición Animal del Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Estado de México (19° 28' 4.26'' LN, 98° 53' 42.18'' LO, 2250 msnm). La precipitación y temperatura media anual de la zona es de 636.5 mm y 15.2°C, respectivamente (García, 2004).

Para este estudio se utilizaron muestras de carne tomadas del músculo *Longissimus dorsi*, de la 12^{va} y 13^{va} costilla, provenientes de 24 corderos Pelibuey en finalización, con edad y peso inicial y final promedio de 2.3 meses, 22.3 kg y 38.6 kg, respectivamente. Detalles del manejo de los animales son descritos por Espinoza (2014), y se resume en lo siguiente: Los animales se distribuyeron homogéneamente en cuatro grupos de seis animales cada uno, y fueron alojados en jaulas metabólicas individuales. El periodo de engorda duró 60 días. Cada grupo de animales fue asignado al azar a cada uno de cuatro tratamientos que consistieron en 1) dieta base con 0, 2) 25, 3) 50, y 4) 75 g de ALCp animal⁻¹ d⁻¹. La dieta base se formuló de acuerdo a las tablas del NRC (2006) y estuvo compuesta (%) por grano de maíz 45.5, grano de sorgo 23.0, pasta de soya 12.0, rastrojo de maíz 14.2, melaza 2.0, premezcla de vitaminas y minerales (24, 3, 2, 8, 12, 0.50, 0.50 y 0.50% de Ca, P, Mg, Na, Cl, K, S y antioxidante; 2000, 5, 4000, 2000, 5000, 100, 30 y 60 ppm de lasolacida, Cr, Mn, Fe, Zn, I, Se y Co; 500 000, 150 000, 1000 UI de vitamina A, vitamina D y vitamina E, respectivamente) 2.0, urea 2.0, y sal común 0.3l. La composición química (%) fue materia seca 92, proteína 15.5, fibra detergente neutro 21.1, fibra detergente ácido 8.9, y cenizas 5.7. La digestibilidad total de la materia seca de la dieta fue 83.90%. El ALCp se ofreció dos veces al día en el alimento (50:50, mañana: tarde, respectivamente), y aportó 12.54% de *cis*-9, *trans*-11 y 12.75% de *trans* 10, *cis*-12, 12.09% de palmítico (C16:0), 48.39% de esteárico (C18:0), 12.58% de oleico (C18:1n-9*cis*), 1.04% de linoleico (C18:2n-6*cis*) y 0.58% de araquidónico (C20:4n-6).

Las variables evaluadas fueron grasa-dorsal, componentes corporales (cabeza, extremidades, piel, vísceras verdes y rojas, contenido gastrointestinal, sangre), pH de la canal (sacrificio y *post mortem*), grasa-omental, grasa-mesentérica, grasa-perirrenal, grasa-pélvica, grasa-corazón, color (L, a, b), resistencia al corte, actividad del agua, y capacidad de retención de agua (CRA).

La grasa dorsal fue determinada al final del experimento previo al sacrificio de los animales, utilizando un ultrasonido Sonovet 600® con un transductor lineal de 7.5 MHz. Al finalizar el periodo de engorda, los animales fueron llevados al rastro donde se sacrificaron, y de cada animal se separó y pesó la cabeza, sangre, extremidades, piel, vísceras (rojas y verdes) y contenido gastrointestinal. El pH de la canal se registró al sacrificio y 24 h *post mortem*, siguiendo la metodología propuesta por Guerrero *et al.* (2002), utilizando un potenciómetro portátil (HANNA, Mod. HI99163), equipado con un electrodo de penetración, el cual fue colocado en el músculo *Longissimus dorsi* en el espacio intercostal entre la 12^{va} y 13^{va} costilla, directamente en la canal. Luego de un periodo *post mortem* de 24 h, se tomaron y pesaron muestras de tejido adiposo para determinar los porcentajes de grasa omental, grasa mesentérica, grasa perirrenal, grasa pélvica y grasa del corazón. Al mismo tiempo se tomaron muestras de carne y grasa dorsal, las cuales se colocaron en bolsas ziploc y se conservaron en refrigeración a -4°C, para su posterior análisis. El color se midió utilizando un colorímetro Minolta (Chroma Meter CR 200, Tokio, Japón). Para ello se utilizaron tres muestras de carne de 1 cm de grosor y 7 cm de diámetro, libres de sangre, grasa, y burbujas, tomándose las lecturas de cada muestra, y registrando los valores de L, a y b, los cuales representan luminosidad, índice rojo y amarillo, respectivamente. La resistencia al corte se midió en muestras de carne cruda de 1 cm², utilizando una navaja Warner-Bratzler con un analizador de textura TA-XT2 (Texture Technologies Corp., Scarsdale, NY, USA), reportándose como la fuerza máxima para cortar dichas de carne (Guerrero *et al.* 2002). La actividad del agua se midió en base a la metodología reportada por Guerrero *et al.* (2002), donde las muestras se retiraron del refrigerador y se dejaron enfriar a 24 °C por 30 min, posteriormente se colocó una muestra de carne en el porta muestras del medidor de actividad del agua (Aqualab, Decagon CX-1, Washington, EUA) y se procedió con la lectura. La capacidad de retención de agua (CRA) se determinó utilizando la metodología propuesta por Guerrero *et al.* (2002), para lo cual se utilizaron 5 g de carne, que se molieron en un mortero y enseguida se colocaron en tubos a los cuales se les añadieron 8 ml de solución de cloruro de sodio 0.6 M, agitándose por 1 min con una varilla de vidrio. Posteriormente, la muestra se dejó reposar en baño de hielo durante 30 min, y se agitó durante 1 min antes de centrifugarla a 10,000 x g, durante 15 min en una centrifuga EBA 21 de Hettich. Después de centrifugar, se recuperó el sobrenadante cuyo volumen se midió y fue reportado como CRA.

Los datos fueron analizados con un diseño completamente al azar, utilizando el PROC GLM y la prueba de Tukey para la comparación de medias entre tratamientos (SAS, 2004). El modelo estadístico fue: $Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$. Donde:

Y= Variable dependiente; i= 1, 2, 3, 4 tratamientos. j= 1, 2, 3, 4, 5, 6 repeticiones.

μ = Media general

t_i = Efecto del tratamiento

E_{ij} = Error aleatorio; $E_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Proporciones corporales y pH

No se encontraron diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos en las proporciones corporales y pH al sacrificio, excepto en contenido gastrointestinal ($P<0.05$), el cual fue mayor en los animales que recibieron 75 g de ALCp d^{-1} , seguidos de aquéllos suplementados con 0, 25 y 50 g de ALCp d^{-1} , (Cuadro 1). Los promedios para la proporción de sangre, cabeza, piel, extremidades, vísceras verdes y rojas, y contenido gastrointestinal fueron 4.35, 4.89, 9.35, 2.26, 10.03, 7.67 y 8.47%, respectivamente. El pH de la canal al sacrificio fue 6.38 en promedio.

Cuadro 1. Proporciones corporales y pH al sacrificio de corderos Pelibuey complementados con ácido linoleico conjugado protegido.

Variables	Niveles de ácido linoleico conjugado protegido, g animal ⁻¹ d ⁻¹					
	0	25	50	75	EEM*	P
Sangre, %	4.53	4.40	4.15	4.35	0.158	0.876
Cabeza, %	4.86	5.09	4.69	4.89	0.093	0.615
Piel, %	9.33	9.29	10.18	8.62	0.263	0.222
Extremidades, %	2.30	2.25	2.30	2.21	0.039	0.850
Vísceras verdes, %	9.88	10.96	10.07	9.21	0.323	0.304
Vísceras rojas, %	7.67	7.90	7.90	7.30	0.302	0.908
Contenido gastrointestinal, %	8.75 ^{ab}	8.05 ^{ab}	6.27 ^b	10.83 ^a	0.478	0.002
pH al sacrificio	6.26	6.38	6.45	6.45	0.038	0.259

^{ab}Medias con literales distintas en misma fila son diferentes estadísticamente ($P<0.05$).

Los promedios para las variables sangre, cabeza, piel y extremidades, son similares a los reportados por Oliveira *et al.* (2002) y Jaramillo *et al.* (2008). Dichos resultados hacen referencia a un desarrollo normal de los animales evaluados (Joy *et al.*, 2008), lo que sugiere que en el presente estudio la adición de hasta 75 g d^{-1} de ALCp en la dieta por un periodo de 60 días no afectó el desarrollo de los corderos. Adicionalmente, Atti *et al.* (2003) y Mahouachi y Atti (2005) indican que esos componentes son de maduración temprana, a excepción de la piel, razón por la cual no son afectados por la dieta durante el crecimiento. Esto indica que el peso de la mayoría de las proporciones corporales depende mayormente del peso y la edad del animal al sacrificio que de la composición de la dieta ofrecida y del contenido de ALCp en la misma.

Los promedios obtenidos para vísceras verdes y rojas fueron 10.03 y 7.67 %, y no fueron diferentes ($P>0.05$) entre tratamientos, resultados diferentes (7.15 y 5.27%) a los reportados por Reséndiz *et al.* (2013). Es posible que más que efecto del ALCp en la dieta, el peso de vísceras es influenciado por otros factores como la alimentación y edad de los animales. A este respecto, Núñez *et al.* (2007) reportan que borregos finalizados con alimentos concentrados presentan mayor rendimiento en canal, y por lo tanto, mayor peso en órganos, que aquellos animales finalizados con forrajes, situación atribuida principalmente al alto contenido energético y proteínico de los alimentos concentrados. Por ello, los porcentajes en vísceras verdes y rojas, reportados en el presente estudio, donde los animales alimentados con concentrados, estuvieron por arriba de los reportados por Reséndiz *et al.* (2013), quienes utilizaron tres niveles de alfalfa en su estudio. Respecto a la edad, McClure (2000) reportan que ésta, está ligada a cambios en el crecimiento corporal de los animales conforme éstos se desarrollan, implicando que animales de mayor edad, presentan un tubo digestivo más largo que los animales jóvenes (Zhong *et al.*, 2011). El comportamiento de esta variable está relacionado con el resultado en el contenido gastrointestinal, el cual, aunque no tuvo un comportamiento consistente entre tratamientos, fue mayor ($P<0.05$) con 75 gr ALC d^{-1} . Valores mayores fueron observados por Reséndiz *et al.* (2013) y Hernández *et al.* (2009), quienes reportaron 11.20 y 10.80% en contenido gastrointestinal. En la literatura consultada no se encontraron estudios que demuestren el efecto de ALC en el contenido gastrointestinal, por lo que dichas diferencias pueden estar influenciadas más por la dieta, donde a menor contenido de fibra, menor tiempo del paso por el tracto gastrointestinal, particularmente si se toma en consideración que en estos estudios la dieta tenía mayor cantidad de fibra por la inclusión de heno de alfalfa y rastrojo de maíz, a diferencia de nuestro experimento, donde los animales fueron alimentados a base de alimento concentrado.

Los valores de pH al sacrificio encontrados en este experimento fueron similares a los reportados previamente por Warner *et al.* (2005), Hernández *et al.* (2009) y Reséndiz *et al.* (2013) que tampoco fueron afectados por los tratamientos y son considerados normales para corderos (Lawrie, 1998, citado por Torrescano *et al.*, 2009) e indican que los animales no se estresaron antes ni durante el sacrificio. Este comportamiento sugiere que los corderos suplementados hasta con 75 g d^{-1} de ALCp, no influyó en el pH al sacrificio, y que dicho pH básicamente depende del estrés antes y durante el sacrificio (Hargreaves *et al.*, 2004), y bien

puede ocasionar descenso en el pH de la canal durante las primeras 24 h *post mortem* (Carballo *et al.*, 2001), situación que no se reflejó en los resultados aquí presentados.

Características físico-químicas de la carne

Los resultados de pH *post mortem*, color, resistencia al corte, actividad del agua y capacidad de retención de agua (CRA) se presentan en el Cuadro 2, las cuales no fueron diferentes ($P > 0.05$) entre tratamientos.

Cuadro 2. Características físico-químicas de la carne y pH *post mortem* de la canal de corderos Pelibuey complementados con ácido linoleico conjugado protegido.

Variables	Niveles de ácido linoleico conjugado protegido, g animal ⁻¹ d ⁻¹				EEM***	P
	0	25	50	75		
pH <i>post mortem</i>	5.57	5.69	5.64	5.63	0.027	0.563
L*	39.06	40.17	38.84	38.65	0.615	0.839
Color a	20.99	21.14	20.48	20.22	0.260	0.588
b	4.76	5.59	5.00	4.46	0.318	0.664
Resistencia al corte, kg cm ⁻²	1.79	1.85	1.75	1.71	0.091	0.961
Actividad del agua, Aw	0.99	0.99	0.99	0.99	0.000	0.313
CRA**, ml 100 g ⁻¹ de carne	17.00	18.83	16.67	16.17	0.432	0.139

L*= Luminosidad, a= rojo, b=amarillo. CRA**= Capacidad de retención de agua. EEM*** = Error estándar de la media.

El promedio encontrado para el pH de la canal, sin diferencias estadísticas ($P > 0.05$), fue 5.63, valor considerado normal (Oliete *et al.*, 2006) y relacionado con características deseadas en la carne como color, jugosidad y firmeza (Schiffner *et al.*, 2005). Según Martínez (2005), valores similares a los reportados en el presente estudio para el pH, indican buen manejo pre y durante el sacrificio de los animales. Ofrecer ALCp en la dieta de corderos, no modifica el pH *post mortem*, sugiriendo de la misma manera, que el cambio de pH se debe básicamente al estrés provocado al animal pre y durante el sacrificio (Hargreaves *et al.*, 2004), pero no a la alimentación ni al tipo de dieta. Lo anterior se sustenta, en estudios previos como el realizado por Carballo *et al.* (2001) quienes confirman que cuando el animal sufre estrés físico o fisiológico, antes o durante la matanza, ocurre el proceso de transformación de glucógeno a ácido láctico por glucólisis anaerobia en los músculos, y como consecuencia de este proceso, el pH desciende durante las primeras 24 h *post mortem*, afectando las características de color, jugosidad y firmeza de la

carne, causando carnes oscuras, firmes y secas (DFD, por sus siglas en inglés) o bien, carnes pálidas, suaves y exudativas (PSE, por sus siglas en inglés), estas últimas son características en cerdos, pollos y pavos. Las carnes DFD son más comúnmente observadas en bovinos y ovinos (Miranda, 2013), pero bajo las condiciones antes mencionadas, ello no se observó en los resultados del presente estudio.

Las medias para los índices del color L, a, y b, donde no hubo efecto por acción del ALCp en la dieta, fueron 39.18, 20.70 y 4.95 respectivamente, similares a las reportadas previamente en carne de vaquillas y cerdos suplementados con ALCp en la dieta (Dugan *et al.*, 2003; Janz *et al.*, 2008; Schlegel *et al.*, 2012). Las características del color se encuentran mayormente relacionadas a factores distintos al ALC. Por ejemplo, la L se encuentra ligada al punto de fusión de los ácidos grasos, donde a mayor punto de fusión de éstos, mayor será la L, y trae como consecuencia carnes con tonos más blanco, en comparación con aquellas con niveles más altos de ácidos grasos, con menor punto de fusión, donde los ácidos grasos insaturados presentan menor punto de fusión en comparación con los saturados (Wood *et al.*, 2004). En el presente estudio, a pesar que hubo un incremento en los ácidos grasos saturados en carne cruda, cuando los animales consumieron ALCp en la dieta, no se observaron diferencias entre tratamientos en la variable L, posiblemente el incremento en los ácidos grasos saturados no fue suficiente para marcar diferencias en la luminosidad. Respecto al índice de rojo (a), éste se encuentra relacionado a la edad y sexo del animal (Sañudo, 1992), pero no al ALCp adicionado a la dieta. Al respecto, (De Huidobro *et al.*, 1998) reporta que el color rojo de la carne aumenta conforme la edad del animal avanza, debido al contenido de mioglobina, el cual es mayor en animales de mayor edad. Del mismo modo, el índice de amarillo (b), es mayormente posible que dicho color se deba al tipo de alimentación. Generalmente la carne de animales en pastoreo presenta valores más altos en la variable b, comparada con la carne de aquellos animales que consumen alimentos concentrados, esto debido a que los pastos contienen grandes cantidades de carotenos, pigmentos que causan la coloración amarilla en la carne (Poulson *et al.*, 2004). Aunque ALCp adicionado en la dieta no tuvo efecto en el color de la carne, los valores se encuentran dentro de los promedios estándares reportados (Orellana *et al.*, 2009), importantes en la toma de decisión del consumidor para adquirir el producto, al relacionarse con frescura y calidad (Mancini y Hunt, 2005; Escalante *et al.*, 2008).

La resistencia al corte de la carne que tampoco fue afectada por los tratamientos, cuyo promedio fue 1.77 kg cm^{-2} , similar al reportado por Sañudo *et al.* (2000), pero diferente a los reportados por Rahman *et al.* (2001) y Azain (2004), quienes señalan que el ALC disminuye la proporción de tejido adiposo afectando la resistencia al corte. Wood *et al.* (2004) reportan que el ALC afecta negativamente la calidad de la carne, al aumentar el punto de fusión y producir mayor percepción de dureza. Sin embargo, se ha reportado que el punto de fusión, ocasiona un efecto en la suavidad de la carne especialmente en tejido subcutáneo, intermuscular e intramuscular (Wood *et al.*, 2004), debido a que la grasa es más suave que el músculo (Villagra, 2010). Además, los factores básicos que influyen en la textura de la carne son longitud del sarcómero, cantidad de tejido conectivo y grado de entrecruzamiento de las fibras, y maduración (Villagra, 2010), aspectos no relacionados a la adición de ALCp en la dieta de los animales. Bianchi *et al.* (2006) y Lawrie y Ledward (2006) reportan que el peso al sacrificio afecta la ternura de la carne en favor de corderos más pesados, debido a la mayor cantidad de tejido conectivo. En este sentido, se puede decir que la edad y el peso al sacrificio pueden ser las causantes de estas inconsistencias en los resultados reportados por Rahman *et al.* (2001), Azain (2004) y Wood *et al.* (2004), ya que en el presente estudio, se utilizaron animales jóvenes comparados con los utilizados por los autores antes mencionado. En el presente estudio, el ALCp suplementado en la dieta, no afectó la suavidad de la carne de los corderos. Es interesante observar que el valor reportado en resistencia al corte de la carne en el presente estudio se asocia a una carne tierna y blanda, ya que a menor fuerza para cortar la carne, más tierna será la misma.

La actividad del agua (A_w) promedió 0.99, similar a lo reportado por Ramírez *et al.* (2007), pero diferente a Hernández (2011), quien reportó valores promedio de 0.97. Lawrie y Ledward, (2006) indican que al incrementar 0.1 en la A_w , la carga bacteriana incrementa hasta en un 100 %. Sin embargo, el valor promedio de A_w de la carne en el presente estudio se encuentra ubicado dentro del rango normal (0.98 a 0.99) para carne fresca (Ranken, 2003). Lo anterior se sustenta debido a que el tejido proteínico participa en la retención de agua, pero no el tejido graso, por lo tanto, a mayor proporción de tejido adiposo hay menor retención de agua, consecuentemente a mayor incorporación de ácidos grasos poli-insaturados en la dieta hay menor retención de agua (Aguilar *et al.*, 2014), situación que no se reflejó en el presente estudio, a pesar de haber incorporado ALCp en la dieta, el cual es un AGPI. Esto toma importancia en el sentido que a mayor A_w en la carne, la cantidad de agua disponible para los microorganismos es mayor

y tales microorganismos pueden ser patógenos y ocasionar serios problemas para el consumidor, además que la Aw repercute negativamente en la vida de anaquel (Escalante *et al.*, 2008).

La CRA en las muestras de carne del presente estudio promedió 17.17 %, similares a los reportados por Janz *et al.* (2008) y Schlegel *et al.* (2012), donde tampoco el ALC en la dieta afectó la CRA en carne de cerdos y vaquillas. El no haber encontrado diferencias entre tratamientos para la CRA en el presente estudio, se atribuye a que esta variable se encuentra estrechamente relacionada al pH, en el que cuando éste desciende y se aproxima al punto isoeléctrico de las proteínas (5.2), la capacidad de retención de agua disminuye (Urrutia *et al.*, 2008), se pierde jugosidad y en consecuencia hay mayor decoloración (Torrescano *et al.*, 2009). Es comportamiento no se reflejó en los resultados reportados en el presente estudio, ya que se obtuvieron medidas similares a las reportadas en la literatura (Janz *et al.*, 2008; Schlegel *et al.*, 2012) en todas las variables antes mencionadas (Cuadro 2), por lo que se puede hipotetizar que el ALC no está relacionado a la CRA. Además, López y Casp (2004) señalan que valores similares a los reportados en el presente estudio para la CRA, ayudan a mantener la dureza, jugosidad y color de la carne, mejorando el rendimiento de la misma durante el procesamiento.

Depósitos grasos

Las medias de los diferentes componentes de depósitos grasos se presentan en el Cuadro 3. No se encontraron diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos. Gillis *et al.* (2004) y Wynn *et al.* (2006) tampoco observaron diferencias significativas y reportaron resultados similares en la deposición grasa bovinos y ovinos respectivamente. Al respecto, Wynn *et al.* (2006) atribuyen esta variabilidad en la respuesta, a la dosis, composición química del suplemento de ALC, edad y esfuerzo físico de los animales, y diferencia de respuesta de los tejidos. Los resultados anteriores contrastan con los reportados en cerdos (Cooper *et al.*, 2001), ratones (Sisk *et al.*, 2001), ovejas (Lock *et al.* 2006; Sinclair *et al.*, 2010) y vacas lecheras (Pappritz *et al.*, 2011; Ramírez *et al.*, 2013), donde han encontrado que la suplementación con ALC favorece la reducción del contenido de grasa corporal y leche. A este respecto, Choi *et al.* (2001) y Cohen *et al.* (2002), demostraron que el isómero *trans*-10, *cis*-12 del ALC el cual reprime la expresión del ARNm e inhibe la actividad de la delta (Δ) 9-desaturasa, coenzima que cataliza la biosíntesis de ácidos grasos monoinsaturados, ejerce efectos lipolíticos en cerdos, ratones, ovejas y vacas lecheras. Lo

anterior sugiere que en el presente estudio donde no hubo efecto por acción del ALC en la deposición grasa, la cantidad de isómeros *trans*-10, *cis*-12 de ALC ofrecida en la dieta no fue lo suficientemente potente como para inhibir la acción de la ECD y reprimir la expresión del ARNm, y en consecuencia, reducir la cantidad de grasa en los diferentes depósitos.

Cuadro 3. Depósitos grasos en corderos Pelibuey complementados con ácido linoleico conjugado protegido.

Variables	Niveles de ácido linoleico conjugado protegido, g animal ⁻¹ d ⁻¹					
	0	25	50	75	EEM*	P
Grasa dorsal, mm	3.17	3.33	3.33	3.00	32.42	0.327
Grasa omental, g	863	754	747	744	41.19	0.659
Grasa mesentérica, g	601	830	667	671	43.59	0.304
Grasa perirrenal, g	515	495	595	519	38.12	0.825
Grasa pélvica, g	99	126	107	132	8.04	0.430
Grasa del corazón, g	67	67	44	53	4.14	0.136

*Error Estándar de la Media

Otros estudios en ratones (West *et al.*, 2000; Tsuboyama *et al.*, 2000; Miner *et al.*, 2001) y cerdos (Müller *et al.*, 2000) han demostrado que la adición de ALC en la dieta ejerce un efecto en la deposición de grasa a través de los mecanismos de apoptosis, procesos de oxidación de ácidos grasos, lipólisis, diferenciación celular y lipogénesis (House *et al.*, 2005), aumentando el gasto energético y causando reducción en la deposición grasa. Además, en no-rumiantes no hay proceso de biohidrogenación, y por ello los ácidos grasos poli-insaturados no son hidrolizados y por tanto son depositados en el tejido destino en mayor proporción que en el caso de rumiantes (Rodríguez *et al.*, 2005). Algunos estudios han confirmado un incremento en el gasto energético por acción del ALC en ratones y en otros modelos-animales (Azain, *et al.*, 2000; Müller *et al.*, 2000; Miner *et al.*, 2001; Tsuboyama *et al.*, 2000), y que Según Atkinson (1999), este aumento del gasto energético es suficiente para justificar la reducción de los depósitos grasos en ratones suplementados con ALC en la dieta. El incremento en el gasto energético y la actividad física de los animales pueden generar las diferencias entre los diferentes estudios. En el presente estudio los animales se mantuvieron en jaulas individuales, sin libertad para ejercer un gasto energético adicional, por ende el efecto lipolítico del ALC no mostró una respuesta cuantificable y significativa en la deposición grasa de los animales. Además deben considerarse, las diferentes rutas metabólicas y el tejido destino del ALC, ya que según Fernández *et al.* (2004) reportan que la enzima $\Delta 9$ -desaturasa, la cual es capaz de sintetizar ALC, se encuentra principalmente en

bacterias del rumen, intestino delgado, y ciertos tejidos adiposos como glándula mamaria. Al respecto, Baumgard *et al.* (2001) reportan que la infusión directa con pequeñas cantidades (0.016% en la dieta en materia seca) del isómero *trans*-10, *cis*-12 vía abomaso reduce la lipogénesis en la glándula mamaria de vacas lecheras. Por su parte, De Veth *et al.* (2004) observaron que la infusión abomasal del isómero *trans*-10, *cis*-12, reduce la síntesis de grasa en glándula mamaria de vacas lecheras, observando que la reducción máxima de grasa en leche (alrededor del 50%) se logra con una concentración de 0.8% del isómero *trans*-10, *cis*-12. Sin embargo, también se ha reportado que no todos los depósitos grasos responden de igual manera al ácido linoleico conjugado, y probablemente por esta razón, los depósitos grasos evaluados en el presente estudio no mostraron diferencias significativas con niveles crecientes de ALC. A este respecto, Kim *et al.* (2002) demostraron que una mezcla de isómeros de ALC al 1% en la dieta de ratas, disminuye el tamaño de los depósitos retroperitoneal, peritoneal y omental, pero no de las localizaciones mesentéricas y epididimal. De la misma manera, Cooper (2004) señala que dependiendo del tejido destino y el porcentaje de isómeros, la acción del ALC puede ser completamente diferente. Por otro lado, Park *et al.* (2000) y Smith *et al.* (2002) reportaron que el suministro de *trans*-10, *cis*-12 se encuentra vinculado a síntesis de C18: 1 *trans*-11 (sustrato para *cis*-9, *trans*-11) y que por ello, el efecto inhibitorio o lipolítico en los diferentes tejidos no es observable, situación que pudo haber ocurrido en el presente estudio, donde es posible que la proporción del isómero *trans*-10, *cis*-12 ofrecida en la dieta no fue suficiente para observar el efecto lipolítico en los diferentes depósitos grasos de los animales. Además, el isómero *trans*-10, *cis*-12 es más rápidamente metabolizado que el isómero *cis*-9, *trans*-11 en músculo esquelético (Martin *et al.*, 2000; Ip *et al.*, 2002). Otro de los factores que afectan la deposición grasa, según Zea *et al.* (2007), es que con dietas altas en concentrado como la ofrecida en este estudio, la ingestión de energía aumenta, por lo tanto, la carne y hueso en canal disminuyen, mientras la grasa tiende a incrementarse. Este escenario de resultados en el presente estudio convergen en la idea general que la dosis del ALCp usado en la dieta de los animales, no fue suficiente para inhibir la acción de la enzima $\Delta 9$ -desaturasa y por tanto reprimir la expresión del ARNm, que en consecuencia generaría lipólisis. Además, de acuerdo a resultados reportados y discutidos por diversos autores, quienes argumentan que los diferentes órganos estudiados responden distintamente al ALC, debido a la presencia o ausencia de la $\Delta 9$ -desaturasa, que desafortunadamente no fue evaluada en este estudio, los resultados del efecto inhibitorio en la

deposición grasa de los diferentes depósitos grasos se pudieron haber enmascarado. Sin embargo, es objetivo de nuestro grupo de investigación, realizar más estudios al respecto, donde se considere dicha variable.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio demuestran que la complementación con ácido linoleico conjugado protegido en la dieta de corderos, en dosis de hasta 75 g d⁻¹, no causa efecto lipolítico en los diferentes depósitos grasos, como tampoco afecta las proporciones corporales ni características físico-químicas de la carne. No obstante, más investigación es necesaria, para confirmar los resultados aquí reportados, tomando en consideración otras fuentes de ácido linoleico conjugado, niveles y tiempo de alimentación.

REFERENCIAS

- Aguilar, G. J., Mota, R. D., Escalona, B. H., Trujillo, O. M. E., Guerrero, L. I. 2014. Efecto de dietas con ácidos grasos poliinsaturados en las propiedades sensoriales de la carne de cerdo. *Agrociencia*, 48(8): 777-788.
- Atkinson, R. L. 1999. Conjugated linoleic acid for altering body composition and treating obesity. In *Advances in Conjugated Linoleic Acid Research*. M. P. Yurawecz, M. M. Mossoba, J. K. G. Kramer, M. W. Pariza, and G. J. Nelson (eds), AOCS Press. Champaign, IL, Vol. 1. 348-353 p.
- Attí, N., Salem, H. B., Priolo, A. 2003. Effects of polyethylene glycol in concentrate or feed blocks on carcass composition and offal weight of Barbarine lambs fed *Acacia cyanophylla* Lindl. foliage. *Animal Research*, 52(4): 363-375.
- Azaín, M. J. 2004. Role of fatty acids in adipocyte growth and development. *Journal of Animal Science*, 82(3): 916-924.
- Azaín, M. J., Hausman, D. B., Sisk, M. B., Flatt, W. P., Jewell, D. E. 2000. Dietary conjugated linoleic acid reduces rat adipose tissue cell size rather than cell number. *The Journal of Nutrition*, 130(6): 1548-1554.
- Bauman, D. E., Baumgard, L. H., Corl, B. A., Griinari, D. J. 2000. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. *Journal of Animal Science*, 77(E-Suppl): 1-15.
- Bauman, D. E., Lock, A. L., Corl, B. A., Ip, C., Salter, A. M., Parodi, P. W. 2006. Milk fatty acids and human health: potential role of conjugated linoleic acid and *trans* fatty acids. *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism and Impact of Nutrition on Gene Expression, Immunology and Stress*, 523-555.
- Bauman, D. E., Perfield JW, Harvatine KJ, Baumgard LH. 2008. Regulation of fat synthesis by conjugated linoleic acid: lactation and the ruminant model. *Journal of Nutrition*. 138:403-9.
- Baumgard, L. H., Sangster, J. K., Bauman, D. E. 2001. Milk fat synthesis in dairy cows is progressively reduced by increasing supplemental amounts of *trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid (CLA). *The Journal of Nutrition*, 131(6): 1764-1769.

- Bianchi, G., Garibotto, G., Feed, O., Bentancur, O., Franco, J. 2006. Efecto del peso al sacrificio sobre la calidad de la canal y de la carne de corderos Corriedale puros y cruza. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 38(2): 161-165.
- Carballo, B., López, T. G., Madrid, A. *Tecnología de la carne y de los productos cárnicos*. Madrid. Ed. Mundi-Prensa, 2001. 320 p.
- Choi, Y., Park, Y., Pariza, M. W., Ntambi, J. M. 2001. Regulation of stearyl-CoA desaturase activity by the *trans*-10, *cis*-12 isomer of conjugated linoleic acid in HepG2 cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 28 4(3): 689-693.
- Cohen, P., Miyazaki, M., Socci, N. D., Hagge-Greenberg, A., Liedtke, W., Soukas, A. A., Sharma, R., Hudgins, L. C., Ntambi, J. M., Friedman, J. M. 2002. Role for stearyl-CoA desaturase-1 in leptin-mediated weight loss. *Science*, 297(5579): 240-243.
- Cooper, S. L., Sinclair, L. A., Wilkinson, R. G., Hallett, K. G., Enser, M., Wood, J. D. 2004. Manipulation of the-3 polyunsaturated fatty acid content of muscle and adipose tissue in lambs. *Journal of Animal Science*, 82(5): 1461-1470.
- Cooper, T. R. L., Parrish, F. C., Sparks, J. C., Wiegand, B. R., Ewan, R. C. 2001. Conjugated linoleic acid changes swine performance and carcass composition. *Journal of Animal Science*, 79(7): 1821-1828.
- De Veth, M. J., Griinari, J. M., Pfeiffer, A. M., Bauman, D. E. 2004. Effect of CLA on milk fat synthesis in dairy cows: Comparison of inhibition by methyl esters and free fatty acids, and relationships among studies. *Lipids*, 39(4): 365-372.
- Dugan, M. E. R., Aalhus, J. L., Rolland, D. C., y Jeremiah, L. E. 2003. Effects of feeding different levels of conjugated linoleic acid and total oil to pigs on subsequent pork quality and palatability. *Canadian Journal of Animal Science*, 83(4): 713-720.
- Escalante, A. S., Urrutia, G. R. T., Arriola, J. P. C., Méndez, N. F. G., Watanabe, G. H. 2008. Sistemas combinados de conservación para prolongar la vida útil de la carne y los productos cárnicos. *Nacameh*, 2(2): 124-159.
- Escalante, A. S., Urrutia, G. R. T., Arriola, J. P. C., Méndez, N. F. G., Watanabe, G. H. 2008. Sistemas combinados de conservación para prolongar la vida útil de la carne y los productos cárnicos. *Nacameh*, 2(2): 124-159.

- Espinoza, V. B. 2014. Ácido linoleico conjugado protegido en la dieta de borregos Pelibuey: Efecto en características productivas. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 93 p.
- Fernández, Q., A., Rodríguez, V. M., Portillo, M. P. 2004. Ácido linoleico conjugado y grasa corporal. *Revista Española de Obesidad*, 2, 71-79.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México, 91 p.
- Gillis, M. H., Duckett, S. K., Sackmann, J. R. 2004. Effects of supplemental rumenprotected conjugated linoleic acid or corn oil on fatty acid composition of adipose tissues in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 82:1419–27
- Griinari, J. M., Corl, B. A., Lacy, S. H., Chouinard, P. Y., Nurmela, K. V. V., Bauman, D. E. 2000. Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by $\Delta 9$ -desaturase. *The Journal of Nutrition*, 130(9): 2285-2291.
- Guerrero, L. I., Ponce, A. E., Pérez, M. L. 2002. Curso práctico de tecnología de carnes y pescado. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. México. 171 p.
- Hargreaves, A., Barrales, L., Peña, I., Larraín, R., Zamorano, L. 2004. Factores que influyen en el pH último e incidencia de corte oscuro en canales de Bovinos. *Ciencia e Investigación Agraria: Revista Latinoamericana de Ciencias de la Agricultura*, 31(3): 155-166.
- Hernández, C. L., Ramirez, B. J.E., Guerrero, L. M.I., Hernández, M. O., Crosby, G. M.M., Hernández, C. L.M. 2009. Effects of crossbreeding on carcass and meat quality of Mexican lambs. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 61: 475-453.
- Hernández, C. L. 2011. Calidad de la canal y carne de corderos complementados con aceites y rastrojos de maíz. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 67 p.
- House, R. L., Cassady, J. P., Eisen, E. J., McIntosh, M. K., Odle, J. 2005. Conjugated linoleic acid evokes de-lipidation through the regulation of genes controlling lipid metabolism in adipose and liver tissue. *Obesity Reviews*, 6(3): 247-258.
- Ip, C., Y. Dong, M. M. Ip, S. Banni, G. Carta, E. Angioni, E. Murru, S. Spada, M. P. Melis, and A. Saeno. 2002. Conjugated linoleic acid isomers and mammary cancer prevention. *Nutrition and Cancer* 43:52–58.

- Janz, J. A. M., Morel, P. C. H., Purchas, R. W., Corrigan, V. K., Cumarasamy, S., Wilkinson, B. H. P., Hendriks, W. H. 2008. The influence of diets supplemented with conjugated linoleic acid, selenium, and vitamin E, with or without animal protein, on the quality of pork from female pigs. *Journal of Animal Science*, 86(6): 1402-1409.
- Jaramillo, L. E., Molinar, H. F., Leos, M. J. A., Hinojosa, A. M. C. 2008. Efecto de la dieta en corderos de lana y pelo sobre la ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y características de la canal. *Ciencia en la frontera: Revista de Ciencia y Tecnología de la UACJ*. Volumen VI, 131- 139 p.
- Joy, M., Ripoll, G., Delfa, R. 2008. Effects of feeding system on carcass and non-carcass composition of Churra Tensina light lambs. *Small Ruminant Research*, 78(1): 123-133.
- Kim, M. R., Park, Y., Albright, K. J., Pariza, M. W. 2002. Differential responses of hamsters and rats fed high-fat or low-fat diets supplemented with conjugated linoleic acid. *Nutrition Research*, 22(6): 715-722.
- Lock, A. L., Rovai, M., Gipson, T. A., de Veth, M. J., Bauman, D. E. 2008. A conjugated linoleic acid supplement containing *trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid reduces milk fat synthesis in lactating goats. *Journal of Dairy Science*, 91:3291–9.
- Lock, A. L., Teles, B. M., Perfield, J. W., Bauman, D. E., Sinclair, L. A. 2006. A conjugated linoleic acid supplement containing *trans*-10, *cis*-12 reduces milk fat synthesis in lactating sheep. *Journal of Dairy Science*, 89(5): 1525-1532.
- López, R., & Casp, A. 2004. *Tecnología de mataderos*. México: Ed. Mundiprensa.
- Mahouachi, M., & Atti, N. 2005. Effects of restricted feeding and re-feeding of Barbarine lambs: intake, growth and non-carcass components. *Animal Science*, 81(02): 305-312.
- Mancini, R. A., & Hunt, M. 2005. Current research in meat color. *Meat Science*, 71 (1): 100-121.
- Martin, J. C., Grégoire, S., Siess, M. H., Genty, M., Chardigny, J. M., Berdeaux, O., Juaneda, P., Sébédio J. L. 2000. Effects of conjugated linoleic acid isomers on lipid-metabolizing enzymes in male rats. *Lipids* 35:91–98.
- Martínez, C. M. S. 2005. Calidad instrumental y sensorial de la carne ovina. Influencia de la raza, del peso al sacrificio y del tiempo de maduración. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, Facultad de Veterinaria, Zaragoza, España. 290 p.
- McClure, S. 2000. Sheep immunity to gastrointestinal nematode parasites- review 2000. CSIRO Mac Master Laboratory. Armidale, Australia, 14 p.

- Miller, J. R., Siripurkpong, P., Hawes, J., Majdalawieh, A., Ro, H. S., McLeod, R. S. 2008. The *trans*-10, *cis*-12 isomer of conjugated linoleic acid decreases adiponectin assembly by PPAR γ -dependent and PPAR γ -independent mechanisms. *Journal of Lipid Research*, 49(3): 550-562.
- Miner JL, Cederberg CA, Nielsen MK, Chen X, Baile CA. 2001. Conjugated linoleic acid (CLA), body fat, and apoptosis. *Obesity Research*, 9: 129-34.
- Miranda, L. G. C. 2013. Transport and pre-slaughter logistics: definitions and current tendencies in animal welfare and meat quality. *Veterinaria México*, 44(1): 31-56.
- Müller, H. L., Kirchgessner, M., Roth, F. X., Stangl, G. I. 2000. Effect of conjugated linoleic acid on energy metabolism in growing-finishing pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 83(2): 85-94.
- NRC. 2006. Nutrient requirements of sheep. National Academy Press. Sixth Revised Edition. Washington, D. C. USA.
- Núñez, A. C., Mencio, P. R., Renteria, I. D., Solís, A. S., Ortega, M. L. 2007. Influencia de la suplementación sobre la ganancia de peso y calidad de la canal en borregos Dorper/Katahdin. *Revista Científica UDO Agrícola*, 7(1): 245-251.
- Oliete, B., Moreno, T., Carballo, J. A., Monserrat, L., Sánchez, L. 2006. Estudios de la calidad de la carne de ternera de raza rubia Gallega a lo largo de la maduración al vacío. *Archivos de Zootecnia*. 55 (209): 3-14.
- Oliveira, D. E., Gama, M. A. S., Fernandes, D., Tedeschi, L. O., Bauman, D. E. 2002. An unprotected conjugated linoleic acid supplement decreases milk production and secretion of milk components in grazing dairy ewes. *Journal of Dairy Science*, 95(3): 1437-1446.
- Orellana, C., Peña, F., García, A., Perea, J., Martos, J., Domenech, V., Acero, R. 2009. Carcass characteristics, fatty acid composition, and meat quality of Criollo Argentino and Braford steers raised on forage in a semi-tropical region of Argentina. *Meat Science*, 81(1): 57-64.
- Pappritz, J., Meyer, U., Kramer, R., Weber, E. M., Jahreis, G., Rehage, J., Flachowsky G., Dänicke, S. 2011. Effects of long-term supplementation of dairy cow diets with rumen-protected conjugated linoleic acids (CLA) on performance, metabolic parameters and fatty acid profile in milk fat. *Archives of Animal Nutrition*, 65(2): 89-107.
- Park, Y., Storkson, J. M., Ntambi, J. M., Cook, M. E., Sih, C. J., Pariza, M. W. 2000. Inhibition of hepatic stearyl-CoA desaturase activity by *trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid and

- its derivatives. *Biochimica et Biophysica Acta-Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1486(2): 285-292.
- Poulson, C. S., Dhiman, T. R., Ure, A. L., Cornforth, D., Olson, K. C. 2004. Conjugated linoleic acid content of beef from cattle fed diets containing high grain, CLA, or raised on forages. *Livestock Production Science*, 91(1): 117-128.
- Rahman, S. M., Y. M. Wang, H. Yotsumoto, J. Y. Cha, S. Y. Han, S. Inoue, and T. Yanagita. 2001. Effects of conjugated linoleic acid on serum leptin concentration, body-fat accumulation, and β -oxidation of fatty acid in OLETF rats. *Nutrition* 17: 385-390.
- Ramírez, B. E., Hernández, C. L., Guerrero, L. I., Hernández, C. L. M. 2007. Calidad de la carne y análisis sensorial en ovinos de pelo y lana provenientes de engorda intensiva en México Vº Congreso de Especialistas en Pequeños Rumiantes y camélidos sudamericanos, Mendoza, Argentina. Km 36.5 Carr. México Texcoco, Edo. de México.
- Ramírez, M. M., Hernández, M. O., Ramírez, B. E. J., Améndola, M. R. D., Crosby, G. M. M., Burgueño, F. J. A. 2013. Effect of vitamin E on milk composition of grazing dairy cows supplemented with microencapsulated conjugated linoleic acid. *Tropical Animal Health and Production*, 45(8): 1783-1788.
- Ranken, M. D. 2003. *Manual de Industrias de la Carne*. Mundi Prensa Libros SA. Madrid, España. 16- 54 p.
- Reséndiz, C. V., Hernández, O., Guerrero, I., Gallegos, J., Martínez, P. A., Sánchez, C. 2013. Engorda de corderos Pelibuey con diferente nivel de alfalfa en la dieta. *Archivos de Zootecnia*, 62(239): 457-467.
- Rodríguez, C. M., Tovar, A. R., del Prado, M., Torres, N. 2005. Mecanismos moleculares de acción de los ácidos grasos poliinsaturados y sus beneficios en la salud. *Revista de Investigación Clínica*, 57(3): 457-472.
- Sañudo, C. 1992. La calidad organoléptica de la carne con especial referencia a la especie ovina: Factores que la determinan, métodos de medida y causas de variación. Zaragoza. 117 p.
- Sañudo, C., Alfonso, M., Sánchez, A., Delfa, R., Teixeira, A. 2000. Carcass and meat quality in light lambs from different fat classes in the EU carcass classification system. *Meat Science*, 56(1): 89-94.
- SAS. 2004. *SAS/STAT User's Guide (Release 9.1)*. Cary, NC, USA. SAS Institute Inc. Cary North Carolina. USA.

- Schiffner, E., Oppel, K., Lörtzing, D. 2005. Elaboración casera de carne y embutidos. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España. 35 p.
- Schlegel, G., Ringseis, R., Shibani, M., Most, E., Schuster, M., Schwarz, F. J., Eder, K. 2012. Influence of a rumen-protected conjugated linoleic acid mixture on carcass traits and meat quality in young simmental heifers. *Journal of Animal Science*, 90(5): 1532-1540.
- Schmid, A., Collomb, M., Sieber, R., Bee, G. 2006. Conjugated linoleic acid in meat and meat products: A review. *Meat Science*, 73(1): 29-41.
- Shingfield, K. J., Rouel, J., Chilliard, Y. 2009. Effect of calcium salts of a mixture of conjugated linoleic acids containing *trans*-10, *cis*-12 in the diet on milk fat synthesis in goats. *British Journal of Nutrition*, 101: 1006–19.
- Sinclair, L. A., Lock, A. L., Early, R., Bauman, D. E. 2007. Effects of *trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid on ovine milk fat synthesis and cheese properties. *Journal of Dairy Science*, 90: 3326–35.
- Sinclair, L. A., Weerasinghe, W. M., Wilkinson, R. G., de Veth, M. J., Bauman, D. E. 2010. A supplement containing *trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid reduces milk fat yield but does not alter organ weight or body fat deposition in lactating ewes. *The Journal of Nutrition*, 140(11): 1949-1955.
- Sisk, M. B., D. B. Hausman, R. J. Martin, and M. J. Azain. 2001. Dietary conjugated linoleic acid reduces adiposity in lean but not obese Zucker rats. *Journal of Nutrition*. 131: 1668-1674.
- Smith, S. B., Hively, T. S., Cortese, G. M., Han, J. J., Chung, K. Y., Castenada, P., Gilbert, C. D., Adams, V. L., Mersmann, H. J. 2002. Conjugated linoleic acid depresses the δ desaturase index and stearoyl coenzyme A desaturase enzyme activity in porcine subcutaneous adipose tissue. *Journal of Animal Science*, 80(8): 2110-2115.
- Torrescano, U.G.; Sánchez, E.A.; Peñuri, M.F.; Velázquez, C.J. y Sierra, R.T. 2009. Característica de la canal y calidad de la carne de ovinos Pelibuey, engordados en Hermosillo, Sonora. *Biotecnia*, 11: 41-50.
- Tsuboyama, K. N., Takahashi, M., Tanemura, K., Kim, H. J., Tange, T., Okuyama, H., Kasai, M., Ikemoto, S., Ezaki, O. 2000. Conjugated linoleic acid supplementation reduces adipose tissue by apoptosis and develops lipodystrophy in mice. *Diabetes*, 49(9): 1534-1542.

- Urrutia, G. R. T., Escalante, A. S., Méndez, N. F. G., Arriola, J. P. C. 2008. Tecnología e ingeniería del sacrificio y su repercusión en la calidad de la canal de animales de abasto. *Nacameh*, 2(1): 78-94.
- Villagra, S. 2010. Ambiente y sistemas ovinos de producción en la provincia de Río Negro. *Actualización en Producción Ovina 2010*: 5.
- Wang, Y., & Jones, P. J. 2004. Dietary conjugated linoleic acid and body composition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(6): 1153S-1158S.
- Warner, R. D., Ferguson, D. M., McDonagh, M. B., Channon, H. A., Cottrell, J. J., Dunshea, F. R. 2005. Acute exercise stress and electrical stimulation influence the consumer perception of sheep meat eating quality and objective quality traits. *Animal Production Science*, 45(5): 553-560.
- West, D. B, Blohm, F. Y., Truett, A. A., DeLany, J. P. 2000. Conjugated linoleic acid persistently increases total energy expenditure in AKR/J mice without increasing uncoupling protein gene expression. *Journal of Nutrition*, 130 (10): 2471-7.
- Wood, J. D., Richardson, R. I., Nute, G. R., Fisher, A. V., Campo, M. M., Kasapidou, E., Sheard, P. R., Enser, M. 2004. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*, 66(1): 21-32.
- Wynn, R. J., Daniel, Z. C. T. R., Flux, C. L., Craigon, J., Salter, A. M., Buttery, P. J. 2006. Effect of feeding rumen-protected conjugated linoleic acid on carcass characteristics and fatty acid composition of sheep tissues. *Journal of Animal Sciences*, 84: 3440-50.
- Zea, J., Díaz, M. D., Carballo, J. A. 2007. Efecto de la raza, sexo y alimentación en la calidad de la carne de vacuno. *Archivos de Zootecnia*, 56(1): 737-743.
- Zhong, R. Z., Liu, H. W., Zhou, D. W., Sun, H. X., Zhao, C. S. 2011. The effects of road transportation on physiological responses and meat quality in sheep differing in age. *Journal of Animal Science*, 89(11): 3742-3751.

Análisis económico

En el Cuadro 1 se presenta un análisis económico únicamente por concepto de alimentación, donde fueron considerados los costos del concentrado, forraje, vitaminas y minerales, así como el costo del ácido linoleico conjugado protegido (ALCp) y venta de carne en pie. Las variaciones en los costos totales por tratamiento se deben básicamente al costo del ALCp, el cual fue de \$ 130.00 por kg al momento de realizar el experimento. Consecuentemente, el costo total de la dieta se elevó en un 45.0, 59.2 y 64.5% cuando se incluyó 25, 50 y 75 g d⁻¹ de ALCp, respectivamente, comparado con el costo de la dieta sin ALCp. Dichos incrementos en costos equivalen a reducción del ingreso neto, los cuales son incluso negativos cuando se incluye 50 y 75 g d⁻¹ de ALCp en la dieta de los animales, a pesar que el consumo de materia seca individual es básicamente el mismo. Es evidente que el uso del ALCp en la dieta de corderos encarece enormemente los costos totales por concepto de alimentación. Sin embargo, agregar 75 g d⁻¹ de ALCp en la dieta, aumenta el contenido total del isómero *cis*-9, *trans*-11 de 0.59% a 0.76%, que representa un incremento del 22.4% en carne cruda; mientras el *trans*-10, *cis*-12 que aumentó de 0% a 0.26% representa un incremento del 100% con respecto al contenido de isómeros en aquellas muestras de carne de animales sin ALCp. Este mismo comportamiento fue observado en carne cocida, barbacoa y grasa, con algunas variantes en los valores obtenidos. Esto es de vital importancia debido a que ambos isómeros arriba referidos, se les relaciona directamente con efectos benéficos en la salud, particularmente efecto anticancerígeno y lipolítico. Ello implicaría que el consumo de productos cárnicos enriquecidos con ALC podría prevenir los problemas por conceptos de cáncer y obesidad, los cuales se encuentran asociados entre sí (Calle *et al.*, 2004) y que de acuerdo a Kamangar *et al.* (2006) el cáncer es uno de los principales factores involucrados en las altas tasas de mortalidad en humanos a nivel mundial. Económicamente el rubro referido a la salud humana representa costos elevados, los cuales deben tomarse en consideración a fin de disminuir dichas tasas de mortalidad. Es pertinente enfatizar que si bien es cierto que los resultados obtenidos referentes a los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 en el presente estudio, no resuelven este problema, definitivamente pueden contribuir a mitigarlo, aunque para ello son necesarias campañas de concientización en el cambio del patrón de consumo a productos de mejor calidad e inocuos, y con ello, disminuir costos por concepto de salud. Adicionalmente, consumir ese tipo de alimentos lleva el valor agregado de estar ingiriendo

alimentos funcionales, que hoy día son una necesidad. Es necesario documentar que desafortunadamente, los resultados del presente estudio también muestran que los ácidos grasos saturados incrementan en relación a los mono-insaturados, los cuales disminuyen con la adición de niveles altos de ALCp, situación que resulta negativa en el aspecto de la salud humana, dada la relación de los ácidos grasos saturados con enfermedades cardiovasculares.

Antes estos resultados, y dada la importancia del ALC en la salud humana, es necesario buscar alternativas para obtener productos con alto contenido de ALC a bajo costo. Por lo que es recomendable evaluar otras fuentes de ALC cuya meta principal sea el incremento de su contenido en la carne, aspecto que cobra especial importancia en ovinos por su consumo en todo el país básicamente en forma de *barbacoa*, sin descartar el consumo en forma de cortes especializados.

Finalmente, es importante considerar que el análisis económico realizado para el presente estudio, requiere de un análisis más completo donde se consideren otros factores como mano de obra, medicamentos, combustible, animales, maquinaria, instalaciones y transporte, entre otros, a fin de tener un mejor concepto de los costos económicos que representa incluir el ALC protegido en la dieta de corderos.

Cuadro 1. Análisis económico por animal por concepto de alimentación en corderos complementados con ácido linoleico conjugado protegido.

Variables	Ácido linoleico conjugado protegido, g animal ⁻¹ d ⁻¹			
	0	25	50	75
Duración de la engorda (días)	60	60	60	60
Costo de la dieta (\$ kg ⁻¹)	5.00	8.25	11.50	14.75
CMS (kg día ⁻¹ animal ⁻¹)	1.08	1.19	1.15	1.03
Costo por kg CMS día ⁻¹ animal ⁻¹ (\$)	5.40	9.81	13.22	15.19
Costo total (\$)	323.86	588.89	793.35	911.41
Retornos				
PGT (kg animal ⁻¹)	14.33	16.33	16.05	14.33
Precio del kg en pie (\$)	44.00	44.00	44.00	44.00
Ingreso por venta de carne animal ⁻¹ (\$)	630.52	718.52	706.20	630.52
Ingreso Neto	306.66	129.63	-87.15	-280.89

CMS= Consumo de Materia Seca; PGT= Peso Ganado Total.

REFERENCIAS

- Kamangar, F., Dores, G. M., Anderson, W. F. 2006. Patterns of cancer incidence, mortality, and prevalence across five continents: defining priorities to reduce cancer disparities in different geographic regions of the world. *Journal of Clinical Oncology*, 24(14): 2137-2150.
- Calle, E. E., & Kaaks, R. 2004. Overweight, obesity and cancer: epidemiological evidence and proposed mechanisms. *Nature Reviews Cancer*, 4(8): 579-591.