



## Effects of supplementation with protected tuna and linseed oils on performance, and lipid composition of *Longissimus thoracis*, *Gluteous maximus*, and *Musculus deltoideus* in Rambouillet fattening lambs

### Efectos de la complementación con aceites protegidos de atún y linaza en el rendimiento y la composición lipídica del *Longissimus thoracis*, *Gluteous maximus* y *Musculus deltoideus* en corderos de engorda Rambouillet

Carlos Sánchez-del Real<sup>1</sup>; Gemma Razo-Herrera<sup>1</sup>; Agustín Ruíz-Flores<sup>1</sup>; Reyes López-Ordaz<sup>2</sup>; Alejandro Lara-Bueno<sup>1</sup>; Rufino López-Ordaz<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Departamento de Enseñanza e Investigación en Zootecnia, carretera México-Texcoco, km 38.5 Chapingo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-Xochimilco), Departamento de Producción Agrícola, Calzada del Hueso núm. 1100, Col. Villa Quietud, México. C. P. 04960.

\*Corresponding author: [rufinolopez66@yahoo.com](mailto:rufinolopez66@yahoo.com), [rlopezo@chapingo.mx](mailto:rlopezo@chapingo.mx)  
Tel: 5530607678, 595 9521500 Ext. 6541, ORCID ID: 0000-0001-9789-7563

#### Abstract

The aim was to identify the effects of supplementation with tuna oil (TO) or linseed (LO) on the productive performance and fatty acid profile in *Longissimus thoracis*, *Gluteous maximus* and *Musculus deltoideus* of Rambouillet lambs. Fifty animals were stratified by age and BW. Each stratum (n = 10) received one of five treatments for 35 days: 1) Complete sorghum-soybean diet (Control, C); 2) C+1.0 %TO, 01TO; 3) C+3.0% 03TO; 4) C+1.0 % LO, 01LO; and 5) C+3.0 %; 03LO. Lambs in 03TO showed higher average daily gain than C, 03LO, 03TO and 01TO (330 vs 320, 306, 304 and 288 g·d<sup>-1</sup>). In *L. thoracis*, muscle fat (MF) was higher with 03LO compared to other treatments and there were no effects ( $P > 0.05$ ) in myristic. In *G. maximus*, GM was higher in 03LO, and myristic and palmitic were not affected. In *M. deltoideus*, GM was higher than in C. In contrast, stearic, linoleic, linoleic, and arachidonic levels were not affected. In conclusion, supplementation with 3.0 % linseed oil improved average daily gain, muscle fat, palmitic acid concentration and n-6/n-3 ratio in *L. thoracis*. This level of supplementation also increased the concentration of stearic and arachidonic acids, and n-6/n-3 ratio in *G. maximus*. Supplementation with 1.0 % tuna oil improved stearic acid concentration and n-6/n-3 in *G. maximus* and improved stearic and palmitic levels in *M. deltoideus*.

**Keywords:** Supplementation, Fatty acid profile, meat quality, average daily gain, warm carcass yield, cold carcass yield.

#### Resumen

El objetivo fue identificar los efectos de la complementación con aceites de atún (AA) o linaza (AL) sobre el comportamiento productivo y el perfil de ácidos grasos en *Longissimus thoracis*, *Gluteous maximus* y *Musculus deltoideus* de L. thoracis de corderos Rambouillet. Cincuenta animales fueron estratificados por edad y peso vivo (PV= 31.10 ± 1.14). Cada estrato (n = 10) recibió durante 35 días alguno de cinco tratamientos: 1) Dieta completa de sorgo-soya (Control, C); 2) C+1.0 % AA, 01AA; 3) C+3.0 % 03AA; 4) C+1.0 % AL, 01AL; y 5) C+3.0 %, 03AL. Los corderos tratados con 03AA mostraron ganancias diarias de peso mayores que los tratados con C, 03AL, 03AA y 01AA (330 vs 320, 306, 304 y 288 g·d<sup>-1</sup>, respectivamente). En *L. thoracis*, la grasa muscular (GM) fue mayor con 03AL en comparación con otros tratamientos y no hubo efectos ( $P > 0.05$ ) en mirístico. En *G. maximus*, la GM fue mayor en 03AL, y no se afectaron mirístico y palmitico. En *M.*

**Palabras clave:** Complementación, perfil de ácidos grasos, calidad de carne, ganancia diaria de peso, rendimiento de la canal caliente, rendimiento de la canal fría.



*deltoides* la GM fue mayor en C. En contraste, no se afectaron los niveles de estearico, linoleico, linoleico y araquidonico. En conclusión, la complementación con aceite de linaza al 3.0 % mejoró la ganancia diaria de peso, la grasa muscular, la concentración de ácido palmítico y la relación n-6/n-3 en *L. thoracis*. Este nivel de suplementación también aumentó la concentración de ácidos esteárico, araquidónico, y la relación n-6/n-3 en *G. maximus*. La complementación con 1.0 % de aceite de atún mejoró la concentración de ácido esteárico y n-6/n-3 en *G. maximus* y mejoró los niveles de esteárico y palmítico en *M. deltoides*.

## Introduction

The high prevalence of obesity and other chronic, degenerative diseases in North America has resulted in an increasing preference for healthy, safe, and nutritionally superior, high-quality food. Balanced diets including lean meats have also been considered as a vehicle for nutrients known to prevent and control some of these diseases (Anderson & David, 2009). Most human nutritionists agree that increasing intake of n-3 PUFA while reducing n-6 PUFA helps to keep a healthy condition (Jeronimo et al., 2009). This recommendation has brought about an increasing demand for n-3 naturally rich (e.g., tuna) or n-3 enriched products, and emerging adjustments in food production to increase its supply (Toral et al., 2010).

Products like beef and cow milk have been successfully enriched with n-3 eicosapentaenoic and decosahexaenoic acids by adding tuna oil in the animal diets (Raes et al., 2004; Olaia et al., 2020). Likewise, dietary supplementation with linseed oil has increased content of desirable fatty acids, like CLA in ruminant meats (Beorlegui, 2004; Kouba, 2011; Onakpoya, 2012). However, it is necessary to balancing animal growth and feed efficiency with the desirable changes in nutrient composition of ruminant meats. The effects of supplementing tuna oil or linseed oil on animal performance and lipid composition of different, major ovine muscles have not been extensively reported.

This research gap needs to be filled because sheep meat is heavily demanded in the United States of America Southern states and Mexico, particularly in the populous Central Mexico, where it is mainly consumed as Mexican-style barbecue ("barbacoa"). This is traditionally prepared with primal cuts or whole lamb carcasses slow-cooked in a hole dug in the ground covered with Maguey leaves. In this regard, approximately 58 thousand ton of sheep meat was consumed in Mexico in 2014 (SAGAR, 2016). Consequently, this trial was designed to study the effects of adding protected oils from tuna and linseed in finishing lamb's diets on growth and feed efficiency, changes in intramuscular fat contents of *Longissimus thoracis et lumborum*, *Gluteos maximus*, and *Musculus deltoides* that were sampled and analyzed in their fatty acid profile.

## Introducción

La prevalencia de la obesidad elevada y otras enfermedades crónicas y degenerativas en Norteamérica ha dado lugar a una creciente preferencia por alimentos sanos y de calidad nutricional alta. Las dietas que incluyen carnes magras también se han considerado un vehículo para los nutrientes que se sabe que previenen y controlan algunas de estas enfermedades (Anderson y David, 2009). La mayoría de los nutricionistas, coinciden en que aumentar el consumo de ácidos grasos protegidos (AGP) n-3 y reducir el de AGP n-6 ayuda a mantener un estado saludable (Jeronimo et al., 2009). Esta recomendación ha provocado un aumento de la demanda de productos ricos en n-3 (por ejemplo, el atún) o enriquecidos con n-3, y la aparición de ajustes en la producción de alimentos para aumentar su suministro (Toral et al., 2010).

Otros productos como la carne y leche de bovinos se han enriquecido con éxito con ácidos n-3 eicosapentaenoico y decosahexaenoico mediante la adición de aceite de atún en las dietas de los animales (Raes et al., 2004; Olaia et al., 2020). La complementación de la dieta con aceite de linaza ha aumentado el contenido de ácidos grasos deseables, como el CLA en la carne de rumiantes (Beorlegui, 2004; Kouba, 2011; Onakpoya, 2012). Sin embargo, es necesario equilibrar el crecimiento animal y la eficiencia alimenticia con los cambios deseables en la composición de nutrientes de la carne de rumiantes. Los efectos de la complementación con atún o linaza en el rendimiento animal y la composición lipídica de los principales músculos ovinos no se han descrito extensamente.

Con base en lo anterior, se sugiere investigar más debido a que la carne de cordero tiene una demanda alta en el sur de los Estados Unidos y en México. En este último en la región central, se consume, principalmente, en forma de "barbacoa". Dicho platillo se prepara con cortes primarios o canales enteros de borregos cocidos a fuego lento, en un hoyo cavado en el suelo y cubierto con pencas de maguey. Al respecto, en México se consumieron, aproximadamente, 58 mil toneladas de carne de cordero en 2014 (SAGAR, 2016). Como consecuencia, el presente estudio se diseñó para estudiar los efectos de agregar aceites protegidos de atún y linaza en las dietas de ovinos de finalización

## Material and methods

### Animal management, feeding and dressing procedures

Fifty single-born, randomly selected Rambouillet lambs of approximately  $31.1 \pm 1.15$  kg BW (from five to six months old) were used. Fifty animals were stratified by age and BW. Each stratum ( $n = 10$ ) received one of five treatments for 35 days: 1) Control (C, total mixed ration, based on sorghum-soybean); 2) C+1.0 % tuna oil (01TO); 3) C+3.0 % TO (03TO); 4) C+1.0 % linseed oil (01LO); and 5) C+3.0 % LO (03LO) were offered. Diets were formulated according to their NRC nutrient requirements (Table 1; NRC, 2007).

en el crecimiento y la eficiencia alimenticia, y los cambios en grasa intramuscular de *Longissimus thoracis et lumborum*, *Gluteos maximus* y *Musculus deltoides*.

## Materiales y Métodos

### Manejo y alimentación de los animales

En el estudio, se utilizaron cincuenta corderos Rambouillet nacidos de parto simple y seleccionados al azar, de aproximadamente  $31.1 \pm 1.15$  kg de peso vivo (PV, de cinco a seis meses de edad). Los animales se estratificaron por edad y PV. Cada estrato ( $n = 10$ ) recibió uno de los cinco tratamientos durante 35 días: 1) Control (C, dieta completa, basada en sorgo-soya);

**Table 1. Ingredients and chemical composition of diets supplemented with 1.0, or 3.0 % calcium salt-protected oils from tuna or linseed for Rambouillet finishing lambs.**

**Cuadro 1. Ingredientes y composición química de dietas complementadas con 1.0 o 3.0 % de aceites de atún o linaza protegidos con sales de calcio para corderos Rambouillet en etapa de finalización.**

|  | Treatment / Tratamientos |                               |       |                                  |       |
|--|--------------------------|-------------------------------|-------|----------------------------------|-------|
|  | Control                  | Tuna oil % / Aceite de Atún % |       | Linseed oil % / Aceite de Linaza |       |
| Ingredient % /<br>Ingredientes %                             |                          | 1.0                           | 3.0   | 1.0                              | 3.0   |
| Alfalfa medium mature %/<br>Alfalfa henificada %             | 10.00                    | 10.00                         | 10.00 | 10.00                            | 10.00 |
| Soybean, Solv. Extr. 45.0% CP/<br>Pasta de soya, 45.0 % PC   | 9.00                     | 10.00                         | 10.00 | 10.00                            | 10.00 |
| Corn gluten %/<br>Glúten de Maíz %                           | 3.00                     | 3.00                          | 3.00  | 3.00                             | 3.00  |
| Rolled corn, high moisture %/<br>Maíz rolado, humedad alta % | 30.00                    | 29.00                         | 28.00 | 29.00                            | 28.00 |
| Rolled sorghum grain %/<br>Sorgo rolado %                    | 29.00                    | 28.00                         | 27.00 | 28.00                            | 27.00 |
| Corn straw %/<br>Rastrojo de Maíz %                          | 12.00                    | 12.00                         | 12.00 | 12.00                            | 12.00 |
| Molasses %/<br>Melaza %                                      | 4.00                     | 4.00                          | 4.00  | 4.00                             | 4.00  |
| Tuna oil %/<br>Aceite de Atún %                              |                          | 1.00                          | 3.00  |                                  |       |
| Linseed oil %/<br>Aceite de Linaza %                         |                          |                               |       | 1.00                             | 3.00  |
| Mineral premix %/<br>Premezcla de minerales %                | 1.00                     | 1.00                          | 1.00  | 1.00                             | 1.00  |
| CaCO <sub>3</sub> %  | 1.00                     | 1.00                          | 1.00  | 1.00                             | 1.00  |
| Urea %   | 0.50                     | 0.50                          | 0.50  | 0.50                             | 0.50  |
| Salt %/<br>Sal %   | 0.50                     | 0.50                          | 0.50  | 0.50                             | 0.50  |

**Table 1. Ingredients and chemical composition of diets supplemented with 1.0, or 3.0 % calcium salt-protected oils from tuna or linseed for Rambouillet finishing lambs. (Cont.)**  
**Cuadro 1. Ingredientes y composición química de dietas complementadas con 1.0 o 3.0 % de aceites de atún o linaza protegidos con sales de calcio para corderos Rambouillet en etapa de finalización. (Cont.)**

|   | Chemical composition <sup>1</sup> /Composición química <sup>1</sup> |                             |       |                                |       |
|---|---|-----------------------------|-------|--------------------------------|-------|
|   | Control   | Tuna oil %/Aceite de Atún % |       | Linseed oil %/Aceite de Linaza |       |
| Protein %/<br>Proteína %  | 15.09   | 15.57                       | 14.89 | 15.19                          | 15.57 |
| Metabolizable energy, Mcal·kg <sup>-1</sup> /<br>Energía metabolizable, Mcal·kg <sup>-1</sup> | 1.66  | 1.68                        | 3.13  | 2.20                           | 3.29  |
| Neutral detergent fiber %/<br>Fibra detergente neutro %                                       | 21.23   | 21.02                       | 20.93 | 21.02                          | 20.93 |
| Acid detergent fiber %/<br>Fibra detergente ácido %   | 13.14   | 13.14                       | 13.04 | 13.14                          | 13.04 |

<sup>1</sup> Determined in the laboratories of the Universidad Autónoma Chapingo, Mexico.  
<sup>1</sup> Determinado en los laboratorios de la Universidad Autónoma Chapingo, México.

Half of the feed was provided at 0700 h and the rest at 1500 h. Animals were trained to eat from individual feeders, equipped with a recipient of approximately 15.0 kg. Feed was weighed, recorded, and then deposited in the Calan doors (Northwood, NH) feeders. Non-consumed feed was weighed and recorded. Individual DMI was calculated as the difference between offered and non-consumed feed. At the start of the experiment, feed was offered following NRC recommendations (NRC, 2007) and an additional 15.0 % the next day. This procedure was followed three or four days until DMI stabilized.

From each animal, a weekly sample of consumed feed and orts was obtained. Both samples were used to determine DM content and feed quality during the experimental period. After collection, samples were stored at -20 °C, weighed and dried at 55.0 to 60.0 °C in a forced-air oven for 48 h to determine partial field DM. Dry matter intake was estimated by multiplying the daily feed intake by their DM content. Afterwards, feed samples were ground in a Willey mill (A. H. Thomas, Philadelphia, PA, USA). Total DM was determined after drying in an oven at 100 °C during 24 h and then incinerated in a muffle at 500 °C to determine organic matter (OM) and ash content.

Neutral detergent fiber and ADF were determined with the Goering and Van Soest (1970) method. Additionally, CP was determined using the Kjeldahl method (AOAC, 2006). BW changes recorded weekly were calculated as the difference between consecutive weekly weights.

Oils were protected from fermentation by saponification with Ca<sup>2+</sup>(OH)<sub>2</sub> (85/15 w/w). The resulting salts were ground, sifted through a 2.0 mm screen and stored

2) C+1.0 % aceite de atún (01AA); 3) C+3.0 % AA (03AA); 4) C+1.0 % aceite de linaza (01AL); y 5) C+3.0 % AL (03AL). Las dietas se formularon de acuerdo con las sugerencias del NRC (Cuadro 1; NRC, 2007).

La mitad del alimento se suministró a las 07:00 h y el resto a las 15:00 h. Los animales aprendieron a consumir el alimento en comederos individuales, equipados con un recipiente de aproximadamente 15.0 kg. El alimento se pesó, se registró y se depositó en los comederos del tipo Calan door (Northwood, NH). La porción no consumida se pesó y se registró. El CMS individual se calculó como la diferencia entre el alimento ofrecido y el no consumido. Al inicio del experimento, se ofreció el alimento siguiendo las recomendaciones del NRC (NRC, 2007) y un 15.0 % adicional al día siguiente. Este procedimiento se siguió tres o cuatro días hasta que se estabilizó el CMS.

De cada animal se obtuvo una muestra semanal del alimento consumido y del no consumido. Ambas muestras se utilizaron para determinar el contenido de MS y la calidad durante el periodo experimental. Después de la recolección, las muestras se almacenaron a -20 °C, se pesaron y se secaron a 55.0-60.0 °C en un horno de aire forzado durante 48 h para determinar la MS parcial de campo.

El CMS se estimó multiplicando el consumo diario por su contenido en MS. Posteriormente, las muestras se molieron en un molino Willey (A. H. Thomas, Filadelfia, PA, USA.). La MS total se determinó después de secarla en un horno a 100 °C durante 24 h y luego incinerarla en una mufla a 500 °C para determinar el contenido de materia orgánica (MO) y cenizas.



in a cool dry place until use. Approximately 85 g of either tuna or linseed oil were placed in a precipitation beaker, and heated to 70 °C. Then, 15 g of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  were added and mixed upon constant shaking. Once the process was complete, the resulting solution was set in a box to solidify; and the solid was ground and sifted through a fine screen.

Animals were harvested at the end of the finishing period (35 d) following standard procedures (DINESA, 2011). During transport, animals were handled following the norm NOM-024-ZOO-195, as well as the guidelines for handling animals in research and teaching (FASS, 2010). Dressing percentage was calculated as the ratio of the warm carcass weight divided by the BW times 100 and reported as the warm carcass yield (HCY). After a 24 h chilling storage ( $2.0 \pm 2.0$  °C) the dressing yield was calculated with the cold carcass weight and reported as the cold carcass yield (CCY). Research protocols, care of animals, and management procedures complied with the Mexican Official Standard (NOM-051-ZOO-195).

#### Analyses of muscle fats and fatty acids

At 48 h postmortem, from each animal, a piece of 2.54-cm thick steak from *L. thoracis*, *G. maximus*, *M. deltoideus* muscles were removed (DINESA, 2011); and individually vacuum packaged. All vacuum-packaged clod steaks were frozen at -30 °C and stored at -20 °C until further chemical analyses were performed.

Samples were partially thawed at 4 °C, trimmed adipose and connective tissue, and homogenized in a Black & Decker<sup>TM</sup> food processor (Model HC306 1-1/2-Cup One-Touch Electric Chopper, New Britain, CT, USA), packaged (Whirl-pak bags, Nasco, Fort Atkinson, WI) and stored at -20 °C until final preparation for the chemical analyses. After thawing of the carcasses, the thickness of the backfat layer between the 12th and 13th ribs was measured. Intermuscular and intramuscular fats were determined following the procedures of COVENIN (1982).

Fatty acids (FA) were determined after fat extraction (Folch et al., 1957) from muscles previously trimmed of external fat. For sample preparation and reading, the protocol of Jeronimo et al. (2009) was followed with the following modifications: the column had an initial temperature of 130 °C; then, it was raised 20 °C per minute up to 150 °C, where it was maintained for two minutes. Finally, temperature was raised 4 °C per minute up to 210 °C where it remained for eight minutes. Injector and detector temperature was stabilized at 250 °C. The carrier gas was N at 80 psi·min<sup>-1</sup>, and H<sup>+</sup> and air were kept at 30 psi·min<sup>-1</sup>. The FA reference standards were pure 14:0, 16:0, 18:0, 18:1, 18:2, 18:3, and 20:4 (Sigma, St. Louis, MO, US; Supelco, Bellefonte,

La fibra detergente neutro y la FDA se determinaron con el método de Goering y Van Soest (1970). Además, el contenido de proteína se determinó mediante el método Kjeldahl (AOAC, 2006). Los cambios de PV registrados semanalmente se calcularon como la diferencia entre los pesos semanales consecutivos.

Los aceites se protegieron de la fermentación mediante saponificación con  $\text{Ca}^{2+}(\text{OH})_2$  (85/15 p/p). Las sales resultantes se molieron, se tamizaron a través de un tamiz de 2.0 mm y se almacenaron en un lugar fresco y seco hasta su uso. Aproximadamente 85 g de aceite de atún o de linaza, se colocaron en un vaso de precipitación y se calentaron a 70 °C. A continuación, se añadieron 15 g de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y se mezclaron con agitación constante. Una vez completado el proceso, la solución resultante se dejó solidificar en un recipiente y el sólido se molió y se tamizó a través de un tamiz fino.

Los animales se sacrificaron al final del periodo de engorda (35 d) siguiendo los procedimientos estándar (DINESA, 2011). Durante el transporte, los animales se manejaron siguiendo la norma NOM-024-ZOO-195, y los lineamientos para el manejo de animales en investigación y docencia (FASS, 2010). El rendimiento de la canal se calculó como la relación entre el peso de la canal caliente, dividido entre el PV multiplicado por 100 y se reportó como rendimiento de la canal caliente (RCC). Después de 24 h de almacenamiento en frío ( $2.0 \pm 2.0$  °C), el rendimiento se calculó con el peso de la canal fría y se registró como rendimiento de la canal fría (RCF). Los protocolos de investigación, el cuidado de los animales y los procedimientos de manejo cumplieron con la Norma Oficial Mexicana (NOM-051-ZOO-195).

#### Análisis de grasas y ácidos grasos musculares

A las 48 h postmortem, de cada animal se extrajo un trozo de filete de 2.54 cm de grosor de los músculos *L. thoracis*, *G. maximus* y *M. deltoideus* (DINESA, 2011) y se empaquetaron al vacío individualmente. Todos los filetes empacados al vacío se congelaron a -30 °C y se almacenaron a -20 °C hasta que se realizaron análisis químicos posteriores.

Las muestras se descongelaron parcialmente a 4 °C, se eliminó el tejido adiposo y conectivo y se homogeneizaron en un procesador de alimentos Black & Decker<sup>TM</sup> (Modelo HC306 1-1/2-Cup One-Touch Electric Chopper, New Britain, CT, USA), se empaquetaron (bolsas Whirl-pak, Nasco, Fort Atkinson, WI) y se almacenaron a -20 °C hasta su preparación final para los análisis químicos. Posterior a la descongelación de las canales, se midió el grosor de la capa de grasa dorsal entre la 12<sup>a</sup> y 13<sup>a</sup> costilla. Las grasas intermusculares e intramusculares se determinaron siguiendo los procedimientos de COVENIN (1982).

PA, US; Matreya Pleasant Gap, PA, US). Based on the FA reference standards, the corresponding normalized fatty acid profile (FAP) of the sample was calculated.

### Statistical Analysis

Data was analyzed using Statistical Analysis System (SAS, 2014; version 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Average DG, DMI and EF were analyzed using the Mixed Procedure of SAS in a completely randomized design with repeated measures in time (SAS, 2014). The model included the fixed effects of treatment, week, and their interaction. The random effect of lamb was nested in treatment and was regarded as the repeated term. The statistical model was:

$$Y_{ijkl} = \mu + \text{TREATMENT}_i + \text{WEEK}_j + \text{TREAT} * \text{WEEK}_{ij} + L_{k(i)} + E_{ijkl}$$

Where:  $Y_{ijkl}$  is the response variable,  $\mu$  is the overall mean,  $\text{TREATMENT}_i$  is the fixed effect of treatment  $i^{\text{th}}$  ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ),  $\text{WEEK}_j$  is the fixed effect of week  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, 7$ ),  $\text{TREATMENT} * \text{WEEK}_{ij}$  is the fixed effect of the interaction between treatment  $i$  and week  $j$ ,  $L_{k(i)}$  is the random effect of lamb, and  $E_{ijkl}$  is the random error term.

A similar model was used to analyze feed CP, ADF, NDF, and DM; while FA profiles, HCW, CCW, and MF were evaluated as randomized design with one evaluation criterion. Results were declared significant when  $P < 0.05$ . When an effect was significant, the PDIF option of the Mixed procedure was used to identify differences ( $P < 0.05$ ). The (co) variance structure that yielded the lowest Akaike criteria (Little et al., 2006) was the compound symmetry and was used to analyze BW changes, ADG, DMI, EF, NDF, ADF, CP, DM, INF, and IMF.

### Results and discussion

#### Body weight and carcass characteristics

This experiment was designed to determine whether supplementation with tuna oil or linseed oil could change FA profile in lambs fed corn-soybean diets under confinement conditions. Previous reports (Kim et al., 2014) suggest that TO oil or LO promoted accumulation of eicosapentaenoic (EPA), and decosahexaenoic (DHA) acids into omental and peri-renal fat. The level of linoleic acid in both muscle and adipose tissues of lambs fed tuna oil was doubled than that of lambs fed tallow.

Our results are like those obtained by Giannico et al. (2006), when lambs were supplemented with linseed

Los AG se determinaron por la extracción de grasa (Folch et al., 1957) de músculos previamente desprovistos de grasa externa. Para la preparación y lectura de las muestras, se siguió el protocolo de Jeronimo et al. (2009) con las siguientes modificaciones: La columna tenía una temperatura inicial de 130 °C; luego, se elevó 20 °C por minuto hasta 150 °C, donde se mantuvo durante dos minutos.

Por último, la temperatura se elevó 4 °C por minuto hasta 210 °C, donde se mantuvo durante ocho minutos. La temperatura del inyector y del detector se estabilizó en 250 °C. El gas portador fue N a 80 psi·min<sup>-1</sup>, y el H<sup>+</sup> y el aire se mantuvieron a 30 psi·min<sup>-1</sup>. Los estándares de referencia de AG eran puros 14:0, 16:0, 18:0, 18:1, 18:2, 18:3 y 20:4 (Sigma, St. Louis, MO, USA; Supelco, Bellefonte, PA, USA; Matreya Pleasant Gap, PA, USA). A partir de los estándares de referencia de AG, se calculó el perfil normalizado de AG de la muestra.

### Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando el Sistema de Análisis Estadístico (SAS, 2014; versión 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). La GDP, CMS y EA se analizaron mediante proc mixed de SAS en un diseño completamente al azar con medidas repetidas en el tiempo (SAS, 2014). El modelo incluyó los efectos fijos de tratamiento, semana y su interacción. El efecto aleatorio de cordero se anidó en tratamiento y se consideró como el término repetido. El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + \text{TRATAMIENTO}_i + \text{SEMANA}_j + \text{TRAT} * \text{SEMANA}_{ij} + L_{k(i)} + E_{ijkl}$$

Donde:  $Y_{ijkl}$  es la variable de respuesta,  $\mu$  es la media global,  $\text{TRATAMIENTO}_i$  es el efecto fijo del tratamiento  $i^{\text{th}}$  ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ),  $\text{SEMANA}_j$  es el efecto fijo de la semana  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, 7$ ),  $\text{TRATAMIENTO} * \text{SEMANA}_{ij}$  es el efecto fijo de la interacción entre el tratamiento  $i$  y la semana  $j$ ,  $L_{k(i)}$  es el efecto aleatorio del cordero, y  $E_{ijkl}$  es el término de error aleatorio.

Un modelo similar se utilizó para analizar el PC, FDA, FDN y MS del alimento; mientras que los perfiles de AG, PCC, PCF y GM se evaluaron como diseño aleatorizado con un criterio de clasificación. Los resultados se declararon significativos cuando  $P < 0.05$ . Para la detección de un efecto significativo, se utilizó la opción PDIF del procedimiento Mixed ( $P < 0.05$ ). La estructura de varianza (co) que arrojó el criterio de Akaike más bajo (Little et al., 2006) fue la simetría compuesta y se utilizó para analizar los cambios de PC, GDP, CMS, EA, FDN, FDA, PC, MS, GIN, y GIM.

oil or extruded linseed oil. These authors also observed that the  $\alpha$ -linoleic concentration acid was greater in animals consuming linseed oil and extruded linseed oil than in soybean oil fed animals, and this response affected positively the total content of n-3 as well n-6/n-3 ratio.

Table 2 shows the results obtained for initial and final BW, DMI, ADG, EF, WCY, and CCY. Supplementation with protected TO and LO affected ( $P < 0.05$ ) the final BW of lambs. Animals in 03TO, 01LO and 03LO were heavier than those in C and 01TO. This can be explained because all the diets were formulated with the same level of energy, but different levels of oils. Except for 01TO, as the oil level increased, the final PV also increased. The difference in ME between C and 03LO was almost double (1.66 vs 3.29 Mcal·kg<sup>-1</sup> of DM). This excess in ME provided more ability to metabolize feed, which can be used to produce more metabolites for increasing final BW.

## Resultados y discusión

### Peso corporal y características de la canal

Este experimento se diseñó para determinar si la complementación con aceite de atún o de linaza podría cambiar el perfil de AG en corderos alimentados con dietas de maíz-soya en confinamiento. Estudios anteriores (Kim et al., 2014) sugieren que el AA o el AL promovieron la acumulación de ácidos eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA) en la grasa omental y perirrenal. El nivel linoleico tanto en el músculo como en los tejidos adiposos de los ovinos con aceite de atún era el doble que el de los alimentados con sebo.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son similares a los obtenidos por Giannico et al. (2010), cuando los ovinos fueron complementados con aceite de linaza o aceite de linaza extruido. Estos autores también observaron que la concentración  $\alpha$ -linoleico

**Table 2. BW changes, DMI, ADG, feed efficiency, hot and cold carcass yield, and intramuscular fat of Rambouillet lambs fed diets supplemented with 1.0, or 3.0 % of Ca-salt protected oils of tuna and linseed.**

**Cuadro 2. Cambios en el PV, CMS, GDP, eficiencia alimenticia, rendimiento de la canal en caliente y en frío y grasa intramuscular de corderos Rambouillet alimentados con dietas suplementadas con 1.0 o 3.0 % de aceites de atún y linaza protegidos con sales de Ca.**

| Item/Concepto   | Treatment/Tratamiento     |                             |                           |                                |                           |
|---|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|
|   | Control                   | Tuna oil %/Aceite de Atún % |                           | Linseed oil %/Aceite de Linaza |                           |
|   |                           | 1.0                         | 3.0                       | 1.0                            | 3.0                       |
| Initial BW, kg/<br>PV inicial, kg   | 31.80 ± 1.24 <sup>b</sup> | 31.83 ± 1.14 <sup>b</sup>   | 33.66 ± 1.14 <sup>a</sup> | 30.75 ± 1.14 <sup>b</sup>      | 29.91 ± 1.14 <sup>c</sup> |
| Final BW, kg/<br>PV final, kg   | 41.10 ± 1.88 <sup>b</sup> | 41.76 ± 1.91 <sup>b</sup>   | 45.96 ± 1.62 <sup>a</sup> | 45.71 ± 1.88 <sup>a</sup>      | 44.86 ± 1.71 <sup>a</sup> |
| DMI, kg/<br>CMS, kg   | 1.47 ± 0.10               | 1.29 ± 0.11                 | 1.38 ± 0.12               | 1.52 ± 0.10                    | 1.31 ± 0.11               |
| ADG, g/<br>GDP, g   | 320 ± 0.03 <sup>b</sup>   | 288 ± 0.02 <sup>c</sup>     | 304 ± 0.03 <sup>c</sup>   | 330 ± 0.02 <sup>a</sup>        | 306 ± 0.03 <sup>c</sup>   |
| Efficiency: kg of ADG·kg <sup>-1</sup><br>of DMI/<br>Eficacia: kg de<br>GDP·kg <sup>-1</sup> of CMS | 0.217 ± 0.02              | 0.223 ± 0.02                | 0.220 ± 0.03              | 0.217 ± 0.02                   | 0.233 ± 0.02              |
| Warm carcass<br>yield %/Rendimiento de<br>la canal en caliente %                                    | 44.0 ± 6.00               | 43.2 ± 5.32                 | 46.6 ± 5.32               | 45.4 ± 5.96                    | 45.3 ± 6.01               |
| Cold carcass yield (%)/<br>Rendimiento de la<br>canal en frío (%)                                   | 42.0 ± 2.19               | 43.0 ± 1.53                 | 43.7 ± 1.34               | 43.0 ± 2.10                    | 43.5 ± 1.73               |

<sup>a,b,c,d</sup> Values in the same row with different letter differ significantly ( $P < 0.05$ ).

<sup>a,b,c,d</sup> Valores en la misma fila con letra diferente difieren significativamente ( $P < 0.05$ ).

Kandi et al. (2020), observed higher ADG in sheep supplemented with LO compared to the Control containing 21 % protein (246 vs 199 g·d<sup>-1</sup>). Feed efficiency was also higher with supplemented animals during the post-weaning period. The difference was attributed to an improvement in the efficiency of use of the metabolizable compounds due to the higher level of energy. In the same context, Kitessa et al. (2001) observed that there were no differences in final BW, ADG and DMI between tallow-fed sheep (3.0 % DM) or protected-tuna oil supplementation (4.0 %).

Throughout the study, cumulative feed consumption was similar ( $P > 0.05$ ) in all treatments. Because the DMI depends on ruminal fermentation. This allows us to infer that both diet C and the supplemented diets had similar rumen fermentations, and there were no changes in the production of microbial protein. This could be because the supplements were protected (Vargas et al. 2020). Reports from literature indicate that TO supplementation in diets reduced DMI of lambs (Gulan et al., 1999); and dairy cows (Scollan et al., 2001). In this study, we did not observe reduction in DMI. This could be due to similar digestibility of diets, which promote comparable microbial growth in all animals.

Scollan et al. (2001) reported no differences in DMI in steers fed fat-protected fish oil, or linseed oil diets. Such reduction of DMI was also observed by Wachira et al. (2002) who indicated that inclusion of fish oil depressed feed intake and growth rate. The depression in feed intake may be attributed to a significant reduction in fiber digestion and microbial growth in rumen.

Supplementary fat increases the energy concentration of the diet but may also affect microbial fermentation and feed degradation in the rumen (Nagaraja et al., 1997). These events are associated with inhibition of the rumen microbiota or a physical coating of feed particles limiting their comminution and degradation. However, nutrient degradation (organic matter or fiber) was not apparently affected when measured as a DMI. This suggested that substrate disappearance of all diets had the same rate of fermentation. Although we did not measure the fermentation rate, this effect has been studied by others (Majeuzka et al., 2017; Vargas et al., 2020).

Supplementation with protected TO and LO also impacted ( $P < 0.05$ ) ADG among treatments. Animals in 01LO had greater ADG than that received C, 03LO, 03TO, and 01TO. The difference between 01LO and the two levels of TO and C, could be explained by the reduced ability of the animal oil to oxidize. Oxidation releases free radicals that can alter the protein quality, negatively affecting the AA content. However, la

era mayor en los animales que consumieron aceite de linaza y linaza extruida, que en los alimentados con soya y esta respuesta influyó al contenido total de n-3 y la relación n-6/n-3.

El Cuadro 2 muestra los resultados obtenidos para PV inicial y final, CMS, GDP, EA, RCC y RCF. La complementación con AA y AL protegidos afectó ( $P < 0.05$ ) el PV final de los corderos. Los animales en los grupos 01AL, 03AL, y 03AA fueron más pesados que C y 01AA. Esto puede explicarse porque todas las dietas se formularon con el mismo nivel de energía, y niveles de aceites diferentes. Excepto en el caso de 01AA, a medida que aumentaba el nivel de aceite, también aumentaba el PV final. La diferencia de EM entre C y 03AL fue casi el doble (1.66 vs. 3.29 Mcal·kg<sup>-1</sup> de MS). Este exceso de EM proporcionó más capacidad para metabolizar el alimento, que puede utilizarse para producir más metabolitos para aumentar el PV final.

Kandi et al. (2020) observaron mayor GDP en corderos complementados con AL en comparación con C que contenía 21 % de proteína (246 vs. 199 g·d<sup>-1</sup>). La eficiencia alimenticia también fue mayor en los animales complementados durante el período post-destete. La diferencia se atribuyó a una mejora en la eficiencia de utilización de los compuestos metabolizables debido al mayor nivel de energía. En el mismo contexto, Kitessa et al. (2001) observaron que no hubo diferencias en el PV final, GDP y CMS entre los corderos alimentados con sebo (3.0 % de MS) o complementados con aceite de atún protegido (4.0 %).

El CMS fue similar ( $P > 0.05$ ) en todos los animales en experimentación. Dado que el CMS depende de la fermentación ruminal, esto permite inferir que tanto C como las demás dietas tuvieron fermentaciones ruminales similares, y no hubo cambios en la producción de proteína microbiana. Esto podría deberse a que los complementos estaban protegidos (Vargas et al. 2020). Otros reportes indican que la complementación con AA en las dietas redujo el CMS en ovinos (Gulati et al., 1999) y vacas lecheras (Scollan et al., 2001). En el presente estudio, no se observó una reducción del CMS. Esto podría deberse a la digestibilidad similar de las dietas, que promueven un crecimiento microbiano comparable en todos los animales.

Scollan et al. (2001) no observaron diferencias en el CMS en novillos alimentados con dietas de aceites de pescado o de linaza protegidos. Esta reducción del CMS también fue observada por Wachira et al. (2002), que indicaron que la inclusión de pescado disminuía el consumo de alimento y la tasa de crecimiento. Dicha disminución puede atribuirse a una reducción significativa de la digestión de la fibra y del crecimiento microbiano en el rumen.



difference between 01LO and 03LO, could be due to the higher level of vegetable oil, which produced excess of free radicals that can alter the protein quality and possibly induce loss of AA.

Cooper et al. (2004) reported that addition of linseed oil, fish oil, protected linseed, and soybean did not influence final BW, DMI, ADG, WCY, CCY, or body fat score in growing sheep. However, Cooper et al. (2004) when fed sheep with fish oil observed a greater feed efficiency, which is in line with our findings. In contrast, Wachira et al. (2002) indicated that inclusion of fish oil in diets decreased DMI and growth rate but did not affect feed efficiency.

Warm CY and CCY were not different ( $P > 0.05$ ) among animals fed diets with different level of TO, and LO. Variation in carcass yield depends on animal BW, frame size, and degree of fatness. In our study, the variability in BW at slaughter was quite low and not enough to promote changes in carcass yield. This finding suggests that frame size and degree of fatness among experimental groups were of similar magnitude. Like our findings, Wachira et al. (2002) did not observe differences in WCY and CCY in lambs of different breed types fed linseed oil, fish oil, or a combination of both.

Batha et al. (2020) did not observe differences in hot carcass weights when they added 10.0 % of protected linseed oil compared to Ca-soup (5.0 %) in finishing Malpura sheep. However, the addition of linseed oil increased the concentration of monounsaturated fatty acids in *L. dorsi*. The results of the present study and the literature references indicate that the addition of oils was not accompanied by an increase in the weight of the carcasses of the growing sheep.

#### Muscle fats and fatty acid profile in *L. thoracis*

Table 3 shows the results for concentrations of muscular fat, myristic, palmitic, stearic, linoleic, linolenic, and arachidonic oils, and n-6/n-3 ratio in *L. thoracis* muscle of Rambouillet growing lambs. The supplementation with 03LO in feed increased the deposition of muscular fat in *L. thoracis* in comparison with the other treatments. The amount of free fatty acids in meat depends on the number of fatty acids in the diet, the oxidative power of fatty acids, and the synthesis of fatty acids in the liver (Farhoomand y Chicaniazer, 2009).

The saturation index of ruminant fat tissue is related to its depot site (Wood et al., 2008). Generally, the FA composition depends on ruminal biohydrogenation of dietary FA, *synthesis de novo* of precursors, and rate of desaturation by  $\Delta^9$ -desaturase (Enser et al., 1996). Likewise, C and 01TO had the highest n-6/n-3 ratio ( $P < 0.001$ ) in comparison with 03LO, 01LO and 03TO (9.19 and 7.72 vs 6.41, 5.39 y 3.02, respectively).

La grasa suplementaria aumenta la concentración energética de la dieta, también puede afectar la fermentación microbiana y la degradación del alimento en el rumen (Nagaraja et al., 1997). Este hecho está asociado a la inhibición de la microbiota ruminal o a un recubrimiento físico de las partículas de alimento que limita su trituración y degradación. Sin embargo, la degradación de nutrientes (materia orgánica o fibra) no se afectó cuando se estimó como CMS. Esto sugeriría que las dietas tenían tasas de fermentación similares. Aunque no medimos la tasa de fermentación, este efecto ha sido estudiado por otros (Majeuzka et al., 2017; Vargas et al., 2020).

La adición con aceites protegidos también influyó ( $P < 0.05$ ) GDP. Los animales en 01AL tuvieron mayor GDP que los que recibieron C, 03AL, 03AA y 01AA y C. La diferencia entre 01AL y los dos niveles de AA y C podría explicarse por la menor capacidad de oxidación del aceite en el metabolismo animal. La oxidación libera radicales libres que pueden alterar la calidad de la proteína, afectando negativamente al contenido de aminoácidos. Sin embargo, la diferencia entre 01AL y 03AL podría deberse al mayor nivel de aceite, que produjo un exceso de radicales libres. Lo que, posiblemente, alteró la calidad de la proteína e indujo la pérdida de aminoácidos.

Cooper et al. (2004) indicaron que la adición de aceite de linaza, pescado, linaza protegida y soya no influyó en el PV final, CMS, GDP, RCC, RCF ni en el índice de grasa corporal en corderos en crecimiento. Sin embargo, Cooper et al. (2004) observaron una mayor eficiencia alimentaria en borregos alimentados con pescado, lo que coincide con nuestros resultados. Por el contrario, Wachira et al. (2002) indicaron que la inclusión de pescado en las dietas disminuía el CMS y la tasa de crecimiento, y no afectó la eficiencia alimenticia.

El RCC y el RCF no mostraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre animales. La variación en el rendimiento en canal depende del PV del animal, del tamaño del esqueleto y grado de adiposidad. En nuestro estudio, la variabilidad del PV al sacrificio fue baja y no fue suficiente para promover cambios en el rendimiento en canal. Este hallazgo sugiere que el tamaño del esqueleto y el grado de adiposidad de los animales fueron similares. Al igual que nuestros resultados, Wachira et al. (2002) no observaron diferencias en el RCC y el RCF en ovinos de distintas razas alimentadas con linaza, pescado o una combinación de ambos.

Bhatt et al. (2020) no observaron diferencias en los pesos de las canales calientes cuando añadieron 10.0 % de linaza protegida en comparación con sales de Ca (5.0 %) en corderos Malpura en finalización. Sin embargo, la adición de linaza aumentó la concentración de AG monoinsaturados en *L. dorsi*. Los resultados del presente

**Table 3. Content of fatty acid profile (mg·g<sup>-1</sup>) in *Longissimus thoracis et Lunborum* muscles of Rambouillet lambs fed diets supplemented with 1.0, and 3.0% of Ca salt-protected oils derived from tuna or linseed for fattening lambs during 35 day of confinement.**

**Cuadro 3. Contenido del perfil de ácidos grasos (mg·g<sup>-1</sup>) en *Longissimus thoracis* y *Lunborum* de corderos Rambouillet alimentados con dietas suplementadas con 1.0 y 3.0 % de aceites de atún o linaza protegidos con sales de Ca en corderos de engorda durante 35 días de confinamiento.**

| Treatments / Tratamientos                              |                     |   |                                       |  |  |                  |                |
|--|---------------------|---|---------------------------------------|--|--|------------------|----------------|
| Item /<br>Concepto                                     | Control (C)         | C + 1.0%<br>Tuna /<br>C + 1.0 %<br>Atún | C + 30%<br>Tuna /<br>C + 30 %<br>Atún | C + 1.0%<br>Linseed /<br>C + 1.0 %<br>Linaza | C + 3.0%<br>Linseed /<br>C + 3.0 %<br>Linaza | SEM <sup>1</sup> | P <sup>2</sup> |
| Saturated fatty acid / Ácidos grasos saturados         |                     |   |                                       |  |  |                  |                |
| Muscular<br>fat %/<br>Grasa<br>muscular %              | 15.46b              | 12.22c                                  | 13.11c                                | 14.11b                                       | 16.32 <sup>a</sup>                           | 0.60             | 0.40           |
| Myristic,<br>C14:0/<br>Mirístico,<br>C14:0             | 4.25                | 4.79                                    | 3.41                                  | 4.13   | 4.96   | 0.30             | 0.23           |
| Palmitic,<br>C16:0/<br>Palmítico,<br>C16:0             | 24.49 <sup>ab</sup> | 23.61 <sup>c</sup>                      | 24.21 <sup>b</sup>                    | 25.00 <sup>a</sup>                           | 25.95 <sup>a</sup>                           | 0.16             | 0.01           |
| Stearic,<br>C18:0/<br>Esteárico,<br>C18:0              | 2.68                | 2.73                                    | 2.78                                  | 3.38   | 3.26   | 0.19             | 0.32           |
| Unsaturated fatty acid / Ácidos grasos insaturados     |                     |   |                                       |  |  |                  |                |
| Linoleic,<br>C18:2n-6/<br>Linoleico,<br>C18:2n-6       | 3.23                | 5.06                                    | 3.00                                  | 6.83   | 1.82   | 0.50             | 0.19           |
| Linolenic,<br>C18:3n-3/<br>Linolénico,<br>C18:3n-3     | 2.25                | 2.04                                    | 3.69                                  | 2.88   | 3.22   | 0.27             | 0.21           |
| Arachidonic,<br>C22:4n-6/<br>Araquidónico,<br>C22:4n-6 | 0.49                | 1.18                                    | 0.28                                  | 0.28   | 0.36   | 0.03             | 0.33           |
| n-6 / n-3 <sup>1</sup>                                 | 5.26 <sup>b</sup>   | 3.75 <sup>c</sup>                       | 4.36 <sup>b</sup>                     | 3.25 <sup>c</sup>                            | 6.32 <sup>a</sup>                            | 1.05             | 0.01           |

<sup>1</sup> Standard error of the means / Error estándar de las medias;

<sup>2</sup> Probabilidad (P < 0.05) / Probabilidad (P < 0.05).

<sup>a,b,c,d</sup> Values within the same row with different letters differ significantly (P < 0.05) / <sup>a,b,c,d</sup> Los valores dentro de la misma fila con letras diferentes difieren significativamente (P < 0.05).

<sup>1</sup> PUFA n-6 = 18: 2n-6 + 20: 4 n-6; PUFA n-3 = 18: 3n-3

Addition of TO and LO did not influence ( $P > 0.05$ ) concentrations of myristic fatty acid. Possibly, this due to the supplemented oils reduced fiber digestibility, which might cause a decrease in acetate production and a decline in myristic acid synthesis. Consequently, the lower proportion of this saturated FA was expected.

In contrast, Badee and Hidaka (2014) observed that addition of 1.8 and 3.0 % soybean and sunflower oils and tuna oil diets increased the myristic acid concentration in *L. thoracis* of Awasi lambs. This effect was attributed to tuna oil by *synthesis de novo*, in which acetate is known be the main precursor.

However, palmitic acid content was greater ( $P < 0.05$ ) in 01LO, 03LO and C than 03TO and 01TO in *L. thoracis* muscle. This may be because C diets were formulated with highly digestible ingredients. On the other hand, LO diets contained relatively high quantities of saturated fat, of which palmitic acid is the main component (Ponnampalan et al., 2001; Ponnampalam, 2002).

In our study, levels of stearic, linoleic, linolenic, and arachidonic acid concentrations were similar among treatments. This could be explained by the similar concentration of these FA in the diets. Our results with TO are like those reported by Ponnampalan et al. (2001). On the other size, Czauderna et al. (2004) reported a reduction in the concentration of SFA in lamb *longissimus dorsi* and *biceps femoris* muscles after supplementing control diet with linseed oil. These authors suggested that the oil stimulated peroxidation damage and/or catabolism of FA.

Wachira et al. (2002) observed that supplementation with fish oil or linseed oil reduced the n-6/n-3 ratio in lamb meat, but neither fish oil nor linseed oil decreased the proportion of PUFA: SFA. However, Chang et al. (2022) indicated that LO increased C17:1 y C18:2 n-6 fundamentally. They also observed the increase in the pool of total of polyunsaturated FA and the level of n-6, and C18:3n-3.

Our results for the n-6/n-3 ratio in *L. thoracis* muscle support the conclusions of Raes et al. (2004) who found that this ratio was diet dependent. The n-6/n-3 ratio in food for human beings should be 1.0 to 4.0 (Simopoulus, 2008). In our study, the ratios found in *L. thoracis* are within this range, except for those found in C animals those who received 03TO. However, in *L. thoracis*, C animals had 15 % n-3 PUFA, which is mainly represented by n-3-CLA-PUFA, while its content was 24.0 % in TO diets, and 20.0 % in the LI diets. Given that these PUFA are considered beneficial to human health, it would be important to closely observe them, although the association of n-3 FA with n-3-CL-PUFA and metabolism of 18: n-3-3 in humans is limited

estudio y las referencias bibliográficas indican que la adición de aceites no se acompañó de un aumento en el peso de las canales de los borregos.

### Grasas en músculo y perfil de ácidos grasos en *L. thoracis*

El Cuadro 3, muestra los resultados de las concentraciones de grasa muscular, ácido mirístico, palmítico, esteárico, linoleico, linolénico y araquidónico, y la relación n-6/n-3 *L. thoracis*. La adición con 03AL en el alimento aumentó la deposición de grasa en *L. thoracis* en comparación con los otros tratamientos. La cantidad de AG libres en la carne depende del número de AG en la dieta, del poder oxidativo y de la síntesis de ácidos grasos en el hígado (Farhoomand y Chicaniazer, 2009).

El índice de saturación del tejido adiposo de los rumiantes está relacionado con su sitio de depósito (Wood et al., 2008). En general, la composición de los AG depende de la biohidrogenación ruminal de los mismos de la dieta, la *síntesis de novo* de precursores y la tasa de desaturación por  $\Delta^9$ -desaturasa (Enser et al., 1996). Además, C y 01AA presentaron la relación n-6/n-3 más elevada ( $P < 0.001$ ) en comparación con 03AL, 01AL y 03AA (9.19 y 7.72 vs. 6.41, 5.39 y 3.02, respectivamente).

La adición de AA y AL no influyó ( $P > 0.05$ ) en las concentraciones de mirístico. Posiblemente, esto se deba a que los aceites redujeron la digestibilidad de la fibra, lo que podría causar una disminución del acetato y un descenso de ácido mirístico.

En contraste, Badee e Hidaka (2014) observaron que la adición de 1.8 y 3.0 % de aceites de soja y girasol y dietas con aceite de atún, aumentaron la concentración de mirístico en *L. thoracis* de corderos Awasi. Este efecto se atribuyó al atún que mejoró la *síntesis de novo*, donde el acetato es el precursor principal.

Sin embargo, el contenido de palmítico fue mayor ( $P < 0.05$ ) en 01AL, 03AL y C que en 03AA y 01AA en *L. thoracis*. Esto puede deberse a que C se formularon con ingredientes altamente digeribles. Por otra parte, las AL contenían cantidades altas de grasa saturada, de las que el palmítico es el principal componente (Ponnampalan et al., 2001; Ponnampalam, 2002).

En el presente estudio, la concentración de esteárico, linoleico, linolénico y araquidónico fueron similares. Esto podría explicarse por la concentración similar de estos AG en las dietas. Nuestros resultados con AA son similares a los reportados por Ponnampalan et al. (2001). Por otra parte, Czauderna et al. (2004) observaron una reducción de la concentración de AGS en los músculos *Longissimus dorsi* y *Biceps femoris* de los corderos con la dieta C con linaza. Estos autores

**Table 4. Fatty acid profile content (mg·g<sup>-1</sup>) *Gluteos maximus* muscles of Rambouillet lambs fed diets supplemented with 1.0, and 3.0 % of Ca salt-protected oils derived from tuna or linseed during 35 days of confinement.**

**Cuadro 4. Contenido del perfil de ácidos grasos (mg·g<sup>-1</sup>) de los músculos *Gluteos maximus* de corderos Rambouillet alimentados, durante 35 días de confinamiento, con dietas complementadas con 1.0 y 3.0 % de aceites de atún o linaza protegidos con sales de Ca.**

| Treatments / Tratamientos                              |                   |   |   |  |  |                  |                |
|--|-------------------|---|---|--|--|------------------|----------------|
| Item /<br>Concepto                                     | Control (C)       | C + 1.0%<br>Tuna /<br>C + 1.0 %<br>Atún | C + 3.0%<br>Tuna /<br>C + 3.0 %<br>Atún | C + 1.0%<br>Linseed /<br>C + 1.0 %<br>Linaza | C + 3.0%<br>Linseed /<br>C + 3.0 %<br>Linaza | SEM <sup>1</sup> | P <sup>2</sup> |
| Saturated fatty acid / Ácidos grasos saturados         |                   |   |   |  |  |                  |                |
| Muscular<br>fat %/<br>Grasa<br>muscular %              | 11.39b            | 8.35c                                   | 12.79b                                  | 7.47c  | 13.79 <sup>a</sup>                           | 0.37             | 0.03           |
| Myristic,<br>C14:0/<br>Mirístico,<br>C14:0             | 2.09              | 1.66                                    | 2.44                                    | 2.40   | 1.32   | 0.45             | 0.24           |
| Palmitic,<br>C16:0/<br>Palmitico,<br>C16:0             | 24.42             | 23.09                                   | 26.82                                   | 23.55  | 26.93  | 0.37             | 0.27           |
| Stearic,<br>C18:0/<br>Esteárico,<br>C18:0              | 0.79b             | 2.52 <sup>a</sup>                       | 0.17c                                   | 0.90b  | 2.73 <sup>a</sup>                            | 0.18             | 0.05           |
| Unsaturated fatty acid / Ácidos grasos insaturados     |                   |   |   |  |  |                  |                |
| Linoleic,<br>C18:2n-6/<br>Linoleico,<br>C18:2n-6       | 2.10 <sup>b</sup> | 2.18 <sup>b</sup>                       | 6.89 <sup>a</sup>                       | 2.24 <sup>b</sup>                            | 1.88 <sup>b</sup>                            | 0.50             | 0.03           |
| Linolenic,<br>C18:3n-3/<br>Linolénico,<br>C18:3n-3     | 0.64              | 0.97                                    | 2.40                                    | 1.72   | 2.18   | 0.39             | 0.36           |
| Arachidonic,<br>C22:4n-6/<br>Araquidónico,<br>C22:4n-6 | 0.59 <sup>c</sup> | 0.38 <sup>c</sup>                       | 0.45 <sup>c</sup>                       | 1.02 <sup>a</sup>                            | 0.77 <sup>b</sup>                            | 0.07             | 0.01           |
| n-6 / n-3 <sup>3</sup>                                 | 8.19 <sup>a</sup> | 7.72 <sup>a</sup>                       | 3.02 <sup>c</sup>                       | 5.39 <sup>b</sup>                            | 6.41 <sup>b</sup>                            | 2.01             | 0.01           |

<sup>1</sup>Standard error of the means; <sup>2</sup>Probabilidad (P < 0.05)

<sup>1</sup>Error estándar de las medias; <sup>2</sup>Probabilidad (P < 0.05).

<sup>a,b,c,d</sup>Values within the same row with different letters differ significantly (P < 0.05) / <sup>a,b,c,d</sup>Los valores dentro de la misma columna con letras diferentes difieren significativamente (P < 0.05).

<sup>3</sup>n-6 PUFA = 18: 2n-6 + 20: 4 n-6; n-3 PUFA = 18: 3n-3.037



(Vlaeminck et al., 2006). In contrast, experimental diets did not affect ( $P > 0.05$ ) myristic or palmitic acid concentrations.

Supplementation with TO and LO in the diet affected ( $P < 0.05$ ) the muscular fat in *G. maximus* (Table 4). Muscular fat augmented as the oil level in diets increased with the two different levels of TO, and LO. However, muscular fat concentration of group C was greater than the low level of TO, and LO.

As indicated before, muscular fat increase as the fat content in the diets augmented, above 1.0% of the inclusion. The greater muscular fat accumulation with LO is explained by the change in the *synthesis de novo* of fatty acids. This is reduced with LO because this oil changes the ruminal production of methanogenesis bacteria, which is related with changes in the ruminal metabolites that can be taken by the gastrointestinal tract of the animals (Lyons et al., 2017).

Tuna oil supplementation lowers of saturated fatty acids levels, especially C17:0, and C18:0, which is desirable, because this FA is the major hypercholesterolemic FA and it is associated with a higher risk of cardiovascular diseases and type 2 diabetes (Chikwannha et al., 2018).

According to Yang et al. (1978) decreased SFA in muscles of ruminants fed tuna oil in the ration was presumably caused by *de novo* synthesis inhibition by a higher percentage of exogenous FA in the metabolic pool. Additionally, saturated fatty acids reduction in muscles derived from lambs fed linseed oil may also reflect an incomplete biohydrogenation process, as an effect of the high consumption of unprotected fats rich in linolenic acid.

In *G. maximus*, the supplementation with different types of oils did not impact the content of myristic and palmitic acid concentration. In contrast, there was an effect ( $P < 0.05$ ) on stearic, linoleic, and arachidonic acid contents. The proportion of linoleic acid was one of the highest in the FAP. This could be explained because supplemented oils reduce FA *synthesis de novo* (Doreau y Chilliard, 1997).

Competition between C18:0, C18:3 *n*-3 and C18:2 *n*-6 for desaturation and elongation enzymes may affect the conversion to long chain derivatives, while the high concentration of *n*-3 PUFA is likely due to the preference of these enzymes for C18:3 *n*-3. On the other hand, Bessa et al. (2007) and Gallardo et al. (2015) showed that diet supplementation with linseed oil, produced more C18:3 *n*-3, was coupled with decreased amounts of long chain *n*-3 PUFA in *L. thoracis* and intramuscular fat, suggesting an inhibition of C18:3 *n*-3 metabolism. Bessa et al. (2007) explained that this inhibition could have been caused

sugirieron que el aceite estimulaba el daño por peroxidación y el catabolismo de los AG.

Wachira et al. (2002) observaron que la adición con pescado o linaza reducía la proporción *n*-6/*n*-3 en la carne de cordero. Sin embargo, ni pescado ni linaza disminuían la proporción de PUFA:AGS en el mismo contexto, Chang et al. (2022) indicaron que el AL aumentaba el C17:1 y C18:2 *n*-6. También mejoró pool de AG poliinsaturados y del nivel de *n*-6 y C18:3*n*-3. Los resultados del presente estudio apoyan las conclusiones de Raes et al. (2004), para la relación *n*-6/*n*-3 en *L. thoracis*. Ellos descubrieron que esta relación dependía de la dieta. La relación *n*-6/*n*-3 en los alimentos para seres humanos debería ser de 1.0 a 4.0 (Simopoulus, 2008). En nuestro estudio, las relaciones encontradas en *L. thoracis* están dentro de este rango, excepto las encontradas en C y 03AA. Sin embargo, en *L. thoracis*, los C tenían un 15 % de PUFA *n*-3, que está representado principalmente por *n*-3-CLA-PUFA, mientras que su contenido fue del 24.0 % en las dietas AA, y del 20.0 % en AL. Dado que estos PUFA se consideran benéficos para la salud humana, sería importante observarlos de cerca, aunque la asociación de los AG *n*-3 con los *n*-3-CL-PUFA y la metabolización de 18:*n*-3-3 en humanos es limitada (Vlaeminck et al., 2006). Por el contrario, las dietas experimentales no afectaron ( $P > 0.05$ ) a las concentraciones de mirístico y palmítico.

La adición de AA y AL en la dieta afectó ( $P < 0.05$ ) la grasa muscular en *G. maximus* (Cuadro 4). Dicha grasa aumentó a medida que se incrementaba el aceite con los dos niveles de AA y AL. Sin embargo, la concentración de grasa muscular del C fue mayor que el de los niveles bajos de AA y AL.

Como se indicó líneas arriba, la grasa muscular aumenta a medida que incrementa la misma en la dieta, por encima del 1.0 %. La acumulación de grasa muscular con AL se explica por la reducción de la *síntesis de novo* de AG, por la producción de bacterias metanogénicas (Lyons et al., 2017).

El aceite de atún disminuye los niveles de AG saturados, especialmente C17:0 y C18:0. Esto es deseable, debido que C17:0 es el principal AG hipercolesterolémico y se asoció con un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2 (Chikwannha et al., 2018). Según Yang et al. (1978), la disminución de AGS en músculos de rumiantes alimentados con atún, fue presumiblemente causada por la inhibición de la *síntesis de novo*. Por un mayor porcentaje de AG exógenos en el metabolismo del animal. Además, la reducción de AGS en músculos de corderos alimentados con linaza también puede reflejar un proceso de biohidrogenación incompleto, como efecto del elevado consumo de grasas no protegidas ricas en ácido linolénico.

by the repression of gene expression mediated by linolenic acid.

Increased level of linoleic acid was observed in animals that received treatment 03TO. The reduction with LO was presumable caused by *de novo synthesis* inhibition by higher percentage of exogenous fatty acid in the metabolic pool. In addition, this may be due to an incomplete biohydrogenation as an effect of the high consumption of fat rich in linolenic acid (Olahia et al., 2020). This treatment had an effect contrasting the loss of linolenic acid, which may be a result of the FA distribution in this muscle. Linolenic acid is distributed mainly as triacylglycerols, which in ruminants contain relatively few long-chain PUFA (Wood et al., 2008).

Supplementation with TO and LO did not impact ( $P > 0.05$ ) linolenic acid concentration. In contrast, arachidonic acid content increased ( $P < 0.001$ ) with animals fed 01LO in *G. maximus*. This value was two times of that reached with TO at the same dietary level. The higher 18:3/18:2 ratio in tuna oil diets in *G. maximus* might have reduced the arachidonic acid content because of the expected competition with 18C-FA for  $\Delta^6$ -desaturase. In contrast, tuna oil reduced arachidonic acid, and increased linoleic acid content. This observation is supported by Ashes et al. (1992), who reported that fish oil does not inhibit  $\Delta^6$ -desaturase activity in sheep, contrary to what was discovered in rodents (Bessa et al., 2005).

Supplementation with different levels of TO and LO did impact on the n-6/n-3 ratio. The highest ratio was observed in C groups and 01TO in comparison with the other treatments groups. This is explained due to the competition between C18:0, C18:2 n-6 y C18:3 n-3, which are in competition for enzymes that are working for desaturation. This fact may affect the conversion to long chain derivatives, while the high concentration of n-3 PUFA is likely due to the preference of these enzymes for C18:3 n-3 (Urrutia et al., 2020).

Table 5 shows the concentration of muscular fat, myristic, palmitic, stearic, linoleic, linolenic, and arachidonic oils, and n-6/n-3 ratio in *Musculus deltoideus* of growing lambs. In this muscle, C animals yielded the highest ( $P < 0.001$ ) muscular fat.

These results are like those observed by Kim et al. (2014) who concluded that muscular fat content was independent of experimental diets. In this muscle, the highest ( $P < 0.001$ ) concentrations of myristic were observed in animals on 01LO, intermediate in 03TO and 03LO and lower in 01TO and C. This acid increased linearly as both supplemented oils augmented. This could be because, as if level increased, so did the ME of diets, and the increase of FA was favored by *synthesis de novo* (Baddee and Hidaka, 2014).

En *G. maximus*, la adición con distintos tipos de aceites no afectó al mirístico ni al palmítico. En cambio, sí afectó ( $P < 0.05$ ) al esteárico, linoleico y araquidónico. La proporción de linoleico fue una de las más elevadas en el AGP. Esto podría explicarse porque los aceites complementados reducen la *síntesis de novo* (Doreau y Chilliard, 1997).

La competencia entre C18:0, C18:3 n-3 y C18:2 n-6 por las enzimas de desaturación y elongación, puede afectar a la conversión en derivados de cadena larga, mientras que la concentración de PUFA n-3 elevada se debe, probablemente, a la preferencia de estas enzimas por el C18:3 n-3. Por otro lado, Bessa et al. (2007) y Gallardo et al. (2015) demostraron que la complementación con linaza, que producía más C18:3 n-3, iba unida a una disminución de las cantidades de PUFA n-3 de cadena larga en *L. thoracis* y grasa intramuscular, lo que sugiere una inhibición del metabolismo de C18:3 n-3. Bessa et al. (2007) explicaron que la inhibición podría haber sido causada por la represión de la expresión génica mediada por linolénico.

Un mayor nivel de ácido linoleico se observó en los animales que recibieron 03AA. La reducción con AL se debió presumiblemente a la inhibición de la *síntesis de novo* por el mayor porcentaje de AG exógeno en el pool metabólico (Olaia et al., 2020). Este tratamiento tuvo un efecto contrario a la pérdida de linolénico, que puede ser resultado de la distribución de AG en este músculo. El linolénico se distribuye, principalmente, como triacilglicérols, que en rumiantes contienen relativamente pocos PUFA de cadena larga (Wood et al., 2008).

La complementación con AA y AL no afectó ( $P > 0.05$ ) la concentración de linolénico. En cambio, el araquidónico aumentó ( $P < 0.001$ ) en 01AL en *G. maximus*. Este valor fue el doble del alcanzado con AA al mismo nivel dietético. La mayor proporción 18:3/18:2 con aceite de atún en *G. maximus* podría haber reducido el contenido de araquidónico debido a la competencia esperada con AG de 18C por la  $\Delta^6$ -desaturasa. En cambio, el atún redujo el araquidónico y aumentó linoleico. Esta observación está respaldada por Ashes et al. (1992), que indicaron que el aceite de pescado no inhibe la actividad de la  $\Delta^6$ -desaturasa en corderos (Bessa et al., 2005).

La complementación con diferentes niveles de AA y AL influyó en la relación n-6/n-3. La relación más alta se observó en los grupos C y 01AA, en comparación con los demás grupos. Esto se explica por la competencia entre C18:0, C18:2 n-6 y C18:3 n-3, que compiten por las enzimas que trabajan en la desaturación. Este hecho puede afectar la conversión a derivados de cadena larga, mientras que la concentración alta de PUFA n-3 se debe probablemente a la preferencia de estas enzimas por el C18:3 n-3 (Urrutia et al., 2020).

**Table 5. Fatty acid profile content (mg·g<sup>-1</sup>) in *Musculus deltoides* of Rambouillet lambs fed diets supplemented with 1.0, and 3.0 % of Ca salt-protected oils derived from tuna or linseed for 35 days of confinement.**

**Cuadro 5. Contenido del perfil de ácidos grasos (mg·g<sup>-1</sup>) en *Musculus deltoides* de corderos Rambouillet alimentados, durante 35 días de confinamiento, con dietas complementadas con 1.0 y 3.0 % de aceites de atún y linaza protegidos con sales de Ca.**

| Treatments / Tratamientos                               |                    |   |   |  |  |      |      |
|---|--------------------|---|---|--|--|------|------|
| Item /<br>Concepto                                      | Control (C)        | C + 1.0%<br>Tuna /<br>C + 1.0 %<br>Atún | C + 3.0%<br>Tuna /<br>C + 3.0 %<br>Atún | C + 1.0%<br>Linseed /<br>C + 1.0 %<br>Linaza | C + 3.0%<br>Linseed /<br>C + 3.0 %<br>Linaza | SEM¹ | P²   |
| Saturated fatty acid / Ácidos grasos saturados          |                    |   |   |  |  |      |      |
| Muscular<br>fat %/<br>Grasa<br>muscular %               | 17.71 <sup>a</sup> | 13.24b                                  | 11.68b                                  | 12.73b                                       | 12.80b                                       | 0.16 | 0.05 |
| Myristic,<br>C14:0 /<br>Mirístico,<br>C14:0             | 1.60c              | 1.97c                                   | 2.75b                                   | 3.72 <sup>a</sup>                            | 2.28b  | 0.15 | 0.03 |
| Palmitic,<br>C16:0 /<br>Palmítico,<br>C16:0             | 22.23b             | 23.62b                                  | 21.20c                                  | 26.87 <sup>a</sup>                           | 23.71b                                       | 0.29 | 0.05 |
| Stearic,<br>C18:0 /<br>Esteárico,<br>C18:0              | 3.90               | 2.09                                    | 3.60                                    | 3.69   | 4.14   | 0.31 | 0.40 |
| Unsaturated fatty acid / Ácidos grasos insaturados      |                    |   |   |  |  |      |      |
| Linoleic,<br>C18:2n-6 /<br>Linoleico,<br>C18:2n-6       | 3.46               | 3.87                                    | 3.27                                    | 3.79   | 4.31   | 0.26 | 0.26 |
| Linolenic,<br>C18:3n-3 /<br>Linolénico,<br>C18:3n-3     |                    |   |   |  |  |      |      |
| Arachidonic,<br>C22:4n-6 /<br>Araquidónico,<br>C22:4n-6 | 0.41               | 0.58                                    | 0.73                                    | 0.43   | 0.38   | 0.05 | 0.31 |

<sup>a,b,c,d</sup> Values within the same row with different letters differ significantly ( $P < 0.05$ ) / <sup>a,b,c,d</sup> Los valores dentro de la misma fila con letras diferentes difieren significativamente ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup>PUFA n-6 = 18: 2n-6 + 20: 4 n-6; PUFA n-3 = 18: 3n-3.

Supplemented diets increased ( $P < 0.05$ ) palmitic acid concentration. Animals fed 01LO had the highest ( $P < 0.05$ ) value intermediate for 03LO, 01TO and C, and lower 03TO. The higher concentration of palmitic acid in 01LO could be explained by a greater concentration of FA in this muscle. This increment could be due to the increase in desaturation of 18 C by  $\Delta^9$ -desaturase, or by augmented enzyme activity attributable to the synthesis of high levels of PUFA.

Feeding with different proportions of protected tuna oil or linseed oil did not affect stearic, linoleic, or arachidonic acid contents in the *M. deltoides*. The reduction of FA in these muscles is frequently associated with supplementation with PUFA (Bessa et al., 2005). The reason could be the lack of 18C-FA to be desaturated by  $\Delta^9$  or by inhibition of this enzyme's activity due to the high concentrations of PUFA.

Ruminant meat, particularly lamb meat, is a rich source of n-6 and n-3 PUFA, conjugated linoleic acid plays a favorable role in the prevention and reduction of major diseases of civilization in humans (Geay et al., 2001). Therefore, it is recommended to increase the level of the desired fatty acids in meat fat. Our results showed a slight but not significant decrease of the saturated fatty acid level when diets were supplemented with 3.0 % of TO in *L. Thoracis* and *G. maximus*, but *M. deltoides*.

Ponnampalam et al. (2000) suggested that particularly fish oil can have a positive effect on polyunsaturated fatty acids (mostly n-3) in meat. However, we did not observe the expected increasing polyunsaturated fatty acid content, especially when TO was supplemented to lamb diets, but TO significantly increased the CLA level in intramuscular fat. Other oils, sources of C18 unsaturated fatty acids, did not affect the fatty acid profile but increased the CLA level. This fat was also observed with different vegetable oil that were added to lambs' diets (Szumancher-Strabel et al., 2004).

The total lipid contents in the samples varied from 11.00 to 17.00 %. It is known that the muscular fat content is affected by the breed, rearing system, nutritive regimen, and the age of the lambs. Average muscular fat content in the sheep muscles was 12.7 %, like those values reported by Wachira et al. (2009) and Jeronimo et al. (2009). When muscular fat was considered separately, *L. thoracis* had 14.2 %, while *G. maximus* and *M. deltoides* had 10.5 and 13.4 %, respectively. These values with TO are like those obtained by Valero et al. (2014) who observed that fat content was 16.9, 12.6, and 15.3 % for *L. thoracis*, *G. maximus*, and *M. deltoides*, respectively.

El Cuadro 5 muestra la concentración de grasa muscular, ácido mirístico, palmítico, esteárico, linoleico, linolénico y araquidónico y la relación n-6/n-3 en *M. deltoides*. En este músculo, los animales C produjeron más grasa muscular ( $P < 0.001$ ). Estos resultados son similares a los observados por Kim et al. (2014), quienes concluyeron que el contenido de grasa muscular era independiente de las dietas. En el mismo músculo, las concentraciones de mirístico fueron más altas ( $P < 0.001$ ) que con 01AL, intermedias en 03AA y 03AL y bajas en 01AA y C. Este ácido incrementó linealmente a medida que aumentaba la adición de aceites. Esto podría deberse a que, a medida que aumentaba el nivel, también lo hacía la EM de las dietas, y el aumento de AG se veía favorecido por la *síntesis de novo* (Baddee e Hidaka, 2014).

La adición de aceites incrementó ( $P < 0.05$ ) la concentración de palmítico. Los animales alimentados con 01AL presentaron el valor más alto ( $P < 0.05$ ), intermedio para 03AL, 01AA y C y el bajo fue en 03AA. La mayor concentración de palmítico en 01AL podría explicarse por una mayor concentración de AG en este músculo. Este incremento podría deberse al aumento de la desaturación de 18 C por la  $\Delta^9$ -desaturasa, o por una mayor actividad enzimática atribuible a la síntesis de altos niveles de PUFA.

La alimentación con diferentes proporciones de atún o de linaza no afectó al esteárico, linoleico o araquidónico en los *M. deltoides*. La reducción de AG en estos músculos se asocia, frecuentemente, a la complementación con PUFA (Bessa et al., 2005). La razón podría ser la falta de AG de 18C para ser desaturado por  $\Delta^9$  o por la inhibición de la actividad de la enzima debido a las altas concentraciones de PUFA.

Las carnes de rumiantes, en particular la de borregos, son una fuente de PUFA n-6 y n-3. Dentro de ellos, el ácido linoleico conjugado, desempeña un papel favorable en la prevención y reducción de las principales enfermedades en los seres humanos (Geay et al., 2001). Por lo tanto, se recomienda aumentar el nivel de los AG deseados en la grasa de la carne. Nuestros resultados mostraron una ligera disminución del nivel de AGS cuando las dietas contenían 3.0 % de AA en *L. Thoracis* y *G. maximus*, pero no en *M. deltoides*.

Ponnampalam et al. (2000) sugirieron que, en particular, el aceite de pescado puede tener un efecto positivo sobre los AG poliinsaturados (principalmente n-3) en la carne. Sin embargo, en el presente estudio, no se observó aumento del contenido de AG poliinsaturados esperado, especialmente cuando se adicionó AA. El aceite de atún



## Conclusions

Supplementation with 3.0 % linseed oil improved average daily gain, muscle fat, palmitic acid concentration and n-6/n-3 ratio in *L. thoracis*. This level of supplementation also increased the concentration of stearic and arachidonic acids, and n-6/n-3 ratio in *G. maximus*. Supplementation with 1.0 % tuna oil improved stearic acid concentration and n-6/n-3 in *G. maximus* and increased stearic and palmitic acid in *M. deltoides*.

## Acknowledgements

The authors wish to publish their recognition to CONACyT for the support given to the second author during their study of master's in science. The gratitude was extended to the Universidad Autónoma Chapingo for providing facilities and livestock for the realization of the study.

## Fin de la versión en español

## References / Referencias

- Anderson, B. M., y David, W. L. M. (2009). Are all n-3 polyunsaturated fatty acids creating equal? *Lipids Health Disease*, 8, 33-52.
- AOAC. (2006). Official Methods of Analysis. 18th (ed). Association Official Analyses Chemists Inc. Gaithersburg, MD. AOAC International
- Ashes, J. R., Siebert, B. D., Gulati, K. S., Cuthbertson, A. Z. y Scott, T. W. (1992). Incorporation de n-3 fatty acid of fish oil into tissue and serum lipids of ruminants. *Lipids*, (27), 629-631.
- Badee, G., y Hidaka, S. (2014). Growth performance, carcass characteristics, fatty acid composition and CLA concentrations of lambs fed diets supplemented with different oil sources. *Animal Science Journal*, (85);118-126.
- Beorlegui, C. D. B. (2004). Cambios en el perfil de AG en productos animales en relación con la alimentación animal y humana. Importancia del ácido linoleico conjugado. 1. Rumiantes. Curso de Especialización FEDNA. Universidad Politécnica de Madrid. 15 p.
- Bhatt R. S., Soni L. K., Sahoo, A., Gadekar, P. Y., y Sarkar, S. (2020). Dietary supplementation of extruded linseed and calcium soap for augmenting meat attributes and fatty acid profile of longissimus thoracis muscle and adipose tissue in finisher Malpura lambs. *Small Ruminant Research*, 184, 106062. [www.elsevier.com/locate/smallrumres](http://www.elsevier.com/locate/smallrumres).
- Bessa, J. B. R., Alves, S. P., Jerónimo, E., Alfaia, M. C., Prates, M. A. J., y Silva, S. J. (2007). Effect of lipid supplements on ruminal biohydrogenation intermediates and muscle fatty acids in lambs. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109 (8), 868.
- aumentó significativamente el nivel de ALC en la grasa intramuscular. Esta grasa también se observó con diferentes aceites vegetales que se sumaron a las dietas de corderos (Szumancher-Strabel et al., 2004).
- El contenido total de lípidos de las muestras variaba entre el 11.00 y el 17.00 %. También se sabe que el contenido de grasa muscular es afectado por la raza, el sistema de cría, régimen nutritivo y la edad de los corderos. El contenido medio de grasa muscular en los músculos ovinos fue de 12.7 %, que es comparable son los valores reportados por Wachira et al. (2009) y Jeronimo et al. (2009). Cuando se consideró la grasa muscular por separado, *L. thoracis* tuvo 14.2 %, mientras que *G. maximus* y *M. deltoides* tuvieron 10.5 y 13.4 %, respectivamente. Estos valores con AA son como los obtenidos por Valero et al. (2014), quienes observaron que el contenido de grasa era del 16.9, 12.6 y 15.3 % para *L. thoracis*, *G. maximus* y *M. deltoides*, respectivamente.

## Conclusiones

La complementación con 3.0 % de aceite de linaza mejoró la ganancia media diaria, la grasa muscular, la concentración de ácido palmítico y la relación n-6/n-3 en *L. thoracis*. Este nivel de adición también aumentó la concentración de ácido esteárico y araquidónico, y la relación n-6/n-3 en *G. maximus*. La complementación con 1.0 % de aceite de atún mejoró la concentración de ácido esteárico y la relación n-6/n-3 en *G. maximus* y aumentaron los ácidos esteárico y palmítico en *M. deltoides*.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su reconocimiento al CONACyT por el apoyo brindado al segundo autor durante sus estudios de maestría en ciencias. El reconocimiento es extensivo a la Universidad Autónoma Chapingo por facilitar instalaciones y los ovinos para la realización del estudio.

## Fin de la versión en español

- Bessa, R. J. B., Portugal, P. V., Mendes, I. A., y Santos-Silva, J. (2005). Effect of lipid supplementation on growth performance, carcass and meat quality and fatty acid composition of intramuscular lipids of lambs fed dehydrated lucerne or concentrate. *Livestock Production Science*, (96), 185-194.
- Chang, G., Gao, D., Zhang, Q., Wang, Y., y Gao A. (2022). Performance, meat quality, intramuscular fatty acid profile, rumen characteristics and serum parameters of lambs fed microencapsulated or conventional linseed oil. *Czech Journal of Animal Science*, 67(9), 365-373. DOI:10.17221/77/2022-CJAS

- Chikwanha, O. C., Vahmani, P., Muchenje, V., Dugan, M. R., y Mapiye, C. (2018). Nutritional enhancement of sheep meat fatty acid profile for human health and wellbeing. *Food Research International*, 104, 25-38.
- Cooper, S. L., Sinclair, L. A., Wilkinson, R. G., Hallett, K. G., Enser, M., y Wood, D. J. (2004). Manipulation of the n-3 polyunsaturated fatty acid content on muscle and adipose tissue in lambs. *Journal Animal Science*, (82), 1461-1470.
- COVENIN. (1982). Comisión Venezolana de Normas Industriales. Norma venezolana 792-82. Carne de bovino. Definición e identificación de las piezas de una canal. Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela: Fondonorma, 10.
- Czauderna, M., Kowalczyk, J., Niedźwiedzka, K. M., Wąsowska, I., y Pająk, J. J. (2004). The effect of selenium and linseed oil growth of sheep and content of selected fatty acids in *M. longissimus dorsi*. *Journal Animal Feed Science*, 13(Suppl 1), 303-6.
- DINESA. (2011). Manual de procedimientos para el sacrificio humanitario y la disposición sanitaria de emergencias zoonositarias. Dirección General de Salud Animal. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Diciembre de 2011. Ciudad de México.
- Doreau, M., y Chilliard, Y. (1997). Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *British Journal Nutrition*, (78), S15-S35.
- Enser M, Hallett K, Hewett B, Fursey GAJ, y Wood JD. (1996). Fatty acid content and composition of English beef, lamb, and pork at retail. *Meat Science*, (42), 443-456.
- Farhoomand, P., y S. Checaniazar. (2009). Effects of graded levels of dietary fish oil on the yield and fatty acid composition of breast meat in broiler chickens. *The Journal of Applied Poultry Research*, 18, 508-513.
- FASS. (2010). Federation of Animal Science Societies. Guide for the care and use of agricultural animals in research and teaching. 3rd ed. Federation of Animal Sciences Societies. FASS Press. Champaign, IL, USA.
- Folch, J., Lees, M., y Stanley, G. H. S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal Biological Chemistry*, (226), 497-509.
- Gallardo, B., Manca, M. G., Mantecón, A. R., Nudda, A., y Manso, T. (2015). Effects of linseed oil and natural or synthetic vitamin E supplementation in lactating ewes' diets on meat fatty acid profile and lipid oxidation from their milk fed lambs. *Meat Science*, 102:79-89.
- Geay, I., Bauchart, D., Hocquette, J., y Culioli, J. (2001). Effect of nutritional factors on biochemical, structural, and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. *Reproduction Nutrition. Development*, 41, 1:1-26. Doi: <https://doi.org/10.1051/md:2001.108>
- Giannico, F., Colonna, M. A., Coluccia, A., Crocco, D., Vonghia, G., Cocca, C., y Caput, A. (2009). Extruded linseed, and linseed oil as alternatives to soybean meal and soybean oil in diets for fattening lambs. *Italian Journal Animal Science*, 8 (Suppl. 2), 495-497.
- Gulati, S. K., Ashes, J. R., y Scott, T. W. (1999). Hydrogenation of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids and their incorporation into milk fat. *Animal Feed Science and Technology*, 79, 57-64.
- Goering, H. K., y Van Soest, P. J. (1970). Forage Fiber Analyses. USDA Agric. Handbook No. 379. U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.
- Jeronimo, E. A. C., Alves, S. P., Prates, J. A. M., Santos-Silva, J., y Bessa, R. J. B. (2009). Effect of dietary replacement of sunflower oil with linseed oil on intramuscular fatty acids of lamb meat. *Meat Science*, (83), 499-505.
- Kitessa, S. M., Gulati, S. K., Ashes, J. R., Scott, T. W., y Fleck, E. (2001). Effect of feeding tuna oil supplement protected against hydrogenation in the rumen on growth and n-3 fatty acid content of lamb fat and muscle. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52(4), 433-437.
- Kim, S. C., Adesogan, A. T., Badinga, L., y Staples, C. R. (2014). Effects of dietary n-6: n-3 fatty acid ratio on feed intake, digestibility, and fatty acid profiles of the ruminal contents, liver, and muscle of growing lambs. *Journal Animal Science*, (85), 06-716.
- Kouba, M., y Mouro, J. A. (2011). A review of nutritional effects on fat composition of animal products with special emphasis on n-3 polyunsaturated fatty acid. *Biochemie*, (93), 13-17.
- Litell, R. C., Milliken, G. A., Stroup, W.W., Wolfinger, R. D., y Schabenberger, O. (2006). SAS for Mixed Models. 2<sup>nd</sup> Ed. Cary, N. C. SAS Institute Inc.
- Lyons, T., Boland, T., Storey, S., y Doyle, E. (2017). Linseed Oil Supplementation of Lambs' Diet in Early Life Leads to Persistent Changes in Rumen Microbiome Structure. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1656. doi: 10.3389/fmicb.2017.01656.
- Majewska, M. P., Miltko, R., Bełżeczki, G., Skomiał, J., y Kowalik, B. (2017). Supplementation of rapeseed and linseed oils to sheep rations: effects on ruminal fermentation characteristics and protozoal populations. *Czech Journal Animal Science*, 62, 527-538.
- Nagaraja, T. G., Newbold, C. J., van Nevel, C. J., y Demeyer, D. I. (1997). Manipulation of ruminal fermentation in the rumen microbial. *Ecosystem* (eds. Hobson, P. N. & Stewart, C. S.), 523-632. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-1453-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-94-009-1453-7_13).
- NRC. (2007). National Research Council. Nutrients Requirements of Small Ruminants. Sheep, goats, cervids, and new world camelids. National Academic Press. Washington, D. C., USA.
- Olaia, U., Mendizabal, J. A., Alfonso, L., Soret, B., Insausti, K., y Arana, A. (2020). Adipose Tissue Modification through Feeding Strategies and Their Implication on Adipogenesis and Adipose Tissue Metabolism in Ruminants. *International Journal Molecular Science*, 21, 3183. doi:10.3390/ijms21093183.
- Onakpoya, I. J., Posadzki, P. P., Watson, L. K., Davies, L. A., y Ernst, E. (2012). The efficacy of long-term conjugated linoleic acid (CLA) supplementation on body composition in overweight and obese individuals: a

- systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *European Journal Nutrition*, (51), 127-134.
- Ponnampalam, E. N., Sinclair, A. J., Hosking, B. J., y Egan, A. R. (2002). Effects of dietary lipid type on muscle fatty acid composition, carcass leanness, and meat toughness in lambs. *Journal of Animal Science*, 80, 628-636. <https://doi.org/10.2527/2002.803628x>
- Ponnampalam, E. N., Sinclair, A. J., Egan, A. R., Blakeley, S. J., y Leury, B. J. (2001). Effect of diets containing n-3 fatty acids on muscle long-chain n-3 fatty acid content in lambs fed low- and medium-quality roughage diets. *Journal Animal Science*, (79), 698-706.
- Raes, K., Haak, L., Balcaen, A., Claeys, E., Demeyer, D., y De Smet, S. (2004). Effect linseed feeding at similar linoleic acid levels on the fatty acid composition of double-muscled Belgian Blue young bulls. *Meat Science*, (66), 307-315.
- SAGAR. (2016). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural. Panorama de la Carne y Lana de Ovino. Available at: <http://www.financiarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Ficha%20Ovino.pdf> Accessed December 8<sup>th</sup>, 2016.
- SAS. (2014.). SAS User's Guide: Statistics (ver. 9.2). Cary, NC, USA: SAS Inst. Inc.
- Scollan, N. D., Choi, N. J., Kurt, E., Fisher, A. V., Enser, M., y Wood, J. (2001). Manipulating the fatty acid composition of muscle and adipose tissue in beef cattle. *British Journal Nutrition*, (85), 115-124.
- Szumacher-Strabel, M., Potkanski, A., Geslak, A., Kowalczyk, J., y Sauderna, M. (2004). Effect of adding fat the diet for lambs on the fatty acid profile of intramuscular, perirenal and subcutaneous fat. *Animal Feed Science and technology*, 13, 355-358.
- Simopoulos, A. P. (2008). The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic disease. *Experimental Biology Medicine*, (233), 674-688.
- Toral, P. G., Frutos, P., Hervás, G., Gómez-Cortés, P., Juárez, M., y De La Fuente, M. A. (2010). Changes in milk fatty acid profile and animal performance in response to fish oil supplementation, alone or in combination with sunflower oil, in dairy ewes. *Journal Dairy Science*, (93), 1604-1615.
- Urrutia, O., Mendizabal, J.A., Alfonso, L., Soret, B., Insausti, K., y Arana, A. (2020). Adipose Tissue Modification through Feeding Strategies and Their Implication on Adipogenesis y Adipose Tissue Metabolism in Ruminants. Review. *Int. J. Mol. Sci.* 2020, 21, 3183; doi:10.3390/ijms21093183
- Valero, G. T., Pozo, C. S., Ruiz, M. E., Ávila, T. J. M., y Varela, M. G. (2014). Guía nutricional de la carne. <http://www.fedecarne.es/ficheros/swf/pdf/guiaNutricion.pdf>. Accessed April 29th, 2014.
- Vargas, J. E., Andrés, S., López-Ferreras, L., Timothy, J., Snelling, T. J., David, R., Yáñez-Ruiz, D. R., García-Estrada, C., y López, S. (2020). Dietary supplemental plant oils reduce methanogenesis from anaerobic microbial fermentation in the rumen. *Scientific Reports*;10:1613 | <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58401-z>.
- Vlaeminck, B., Fievez, V., Cabrita, A. R. J., Fonseca, A. M. J., y Dewhurst, R. J. (2006). Factors affecting odd- and branched-chain fatty acid in milk: A review. *Animal Feed Science Technology*, (131), 389-417.
- Wachira, A. M., Sinclair, L. A., Wilkinson, R. G., Enser, M., Wood, J. D., y 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 Nutrition*, (88), 697-709.
- Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A.V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I., Hughes, S. I., y Whittington, F. M. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, (78), 343-358.
- Yang, Y. T., Baldwin, R. L., y Garrett, W. N. (1978). Effects of dietary lipid supplementation on adipose tissue metabolism in lambs and steers. *Journal Animal Science*, 47, 686-90.

