



Características de la canal y perfil de ácidos grasos de la carne de corderos criollos suplementados con semilla de algodón y maíz



Emiro Suárez Paternina ^{a,b*}

Libardo Maza Ángulo ^b

Wilson Barragán Hernández ^a

Lorena Aguayo Ulloa ^a

Oscar Vergara Garay ^b

^a Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. Centro de Investigación Turipaná. Km 13 vía Montería-Cereté. Montería. Colombia.

^b Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Grupo de investigación en Producción Animal Tropical, Montería. Colombia.

*Autor de correspondencia: esuarez@agrosavia.co

Resumen:

El objetivo fue evaluar las características de la canal y perfil de ácidos grasos (AG) de la carne de corderos criollos suplementados con semilla de algodón (SA) y maíz molido (MM). Se utilizaron 24 machos con 90 días y 16 ± 2 kg de peso inicial. Los corderos se asignaron a cuatro tratamientos, T0: pastoreo; T1: pastoreo + 25%-SA + 75%-MM; T2: pastoreo + 50%-SA + 50%-MM y T3: pastoreo + 75%-SA + 25%-MM, bajo un diseño completo aleatorizado. Posterior a 127 días de suplementación, los animales se sacrificaron y se pesó la canal caliente y fría. Se tomaron 200 g del músculo *Longissimus dorsi* para evaluar la proporción de AG en cada animal mediante cromatografía de gases. Se desarrolló un análisis de varianza para determinar el efecto de la dieta. Los animales suplementados presentaron un peso promedio de 32.15 kg, siendo mayor ($P < 0.05$) al registrado por los corderos del T0 (23.3 kg). De igual forma, se observó un mayor rendimiento promedio de las canales de los

corderos que recibieron suplementación (48.2 vs 39.5 %). Los AG palmítico y esteárico aumentaron en la carne de animales suplementados ($P \leq 0.05$), especialmente en aquellos alimentados con la dieta T2. La suplementación con SA y MM alteró positivamente ($P \leq 0.05$) la proporción de los ácidos monoinsaturados (AGM) y polinsaturados (AGP). Los tratamientos no influyeron en ($P > 0.05$) la relación AGM:AGS y el índice de aterogenicidad. Sin embargo, la dieta afectó ($P < 0.05$) la relación AGP:AGS y AG deseables. La suplementación con SA y MM influyó positivamente el peso a la matanza, el rendimiento en canal y el perfil de ácidos grasos en los corderos.

Palabras clave: Ovinos, Suplementos energéticos-proteicos, Biohidrogenación.

Recibido: 12/04/2019

Aceptado: 09/04/2021

Introducción

En Colombia, las gramíneas son la principal fuente de alimento de los ovinos en virtud de su bajo costo de producción (con relación a los alimentos balanceados), representando la forma más práctica y económica de alimentación⁽¹⁾. Sin embargo, a pesar de su importancia, su productividad se ve afectada debido a las fuertes variaciones climáticas a través del año, las cuales se manifiestan con períodos de lluvias intensas y períodos prolongados de sequía, con duración aproximada de cuatro a cinco meses, ocasionando limitaciones en la producción ganadera, principalmente por la disminución en la disponibilidad y calidad nutricional de los forrajes, lo cual conduce a un bajo desempeño de los animales y afecta la calidad del producto final. En este sentido, es válido incorporar tecnologías que conlleven a mejorar los parámetros productivos de la ovinocultura en la región, por lo tanto, la utilización de subproductos agroindustriales energéticos-proteicos, puede mejorar la calidad nutricional de la dieta e incrementar las ganancias de peso, calidad y conformación de las canales de los ovinos.

La semilla de algodón ha sido ampliamente referenciada como un subproducto agroindustrial de alto valor nutricional para la alimentación de rumiantes, la cual se caracteriza por contener altas concentraciones de lípidos, proteína y fibra⁽²⁾. Sin embargo, su calidad nutricional se ve afectada por el contenido de gossipol, por lo que su inclusión en las dietas debe regularse⁽³⁾. La semilla de algodón y sus subproductos son fuentes alternativas de alimentos, lo que puede disminuir el costo de la dieta de los animales⁽⁴⁾. Estos productos tienen altas concentraciones

de ácidos grasos, con un importante efecto en mayor ganancia de peso, mayor deposición de grasa en la canal y cambios en el perfil de ácidos grasos de la carne, lo que puede influir en su aceptabilidad por el consumidor y el impacto en la salud humana⁽⁵⁾.

Por otro lado, la composición de ácidos grasos y las concentraciones de colesterol en la carne han recibido una creciente atención, debido a su relación con la salud humana y calidad del producto⁽⁶⁾. Por lo que, la tendencia ha sido un menor consumo de las llamadas grasas saturadas, ya que éstas conllevan a un mayor riesgo de obesidad, cáncer y enfermedades cardiovasculares. En este contexto, la carne de cordero posee un alto contenido de ácidos grasos saturados y también, en menor cantidad, ácidos grasos poliinsaturados. Estos últimos juegan un papel importante en el desarrollo del cerebro y la retina y previenen enfermedades como la inmunodeficiencia, la carcinogénesis, la aterosclerosis, la hipertensión, la obesidad y las enfermedades cardiovasculares⁽⁷⁾. Por lo tanto, es fundamental potenciar estos ácidos grasos saludables, como la serie n-3 (los llamados omega 3), y el grupo de isómeros posicionales y geométricos del ácido linoleico (los ácidos grasos CLA) en la carne.

En la última década, se vienen utilizando estrategias nutricionales para modificar las concentraciones de los diferentes ácidos grasos en la musculatura de los animales, una de ellas es el uso de semillas de oleaginosas, por su alta concentración en ácidos grasos poliinsaturados⁽⁸⁾. Trabajos con dietas para corderos al destete han evidenciado un aumento en la concentración de ácidos grasos de cadena larga en músculo y grasa en corderos engordados de manera intensiva, mejorándose además el color de la grasa subcutánea⁽⁹⁾. Por su parte, Peng *et al*⁽¹⁰⁾ mencionan que es posible tener productos cárnicos de mejor calidad en cuanto a la composición de ácidos grasos benéficos a través de la suplementación con semillas oleaginosas, lo que proporcionaría opciones más saludables para el consumo de estos productos.

Dada la creciente importancia del sector ovino en Colombia, se hace necesario realizar este tipo de investigaciones, por lo cual, el objetivo de este estudio fue evaluar las características de la canal y el perfil de ácidos grasos de carne de corderos alimentados con semilla de algodón y maíz molido.

Material y métodos

El experimento se desarrolló en la Granja Experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad de Córdoba sede Berástegui, municipio de Ciénaga de Oro, Córdoba-Colombia. La zona, se encuentra clasificada como bosque húmedo

tropical, ubicado a 8°52' N y 75°54' O, altura a 18 msnm, temperatura promedio de 28 °C, humedad relativa de 85 % y precipitación anual de 1,340 mm.

El área utilizada en pastoreo fue 10,000 m², establecida en un 70 % en pasto Estrella (*Cynodon nlemfluensis* Vanderyst) y en un 30 % de pasto Angleton (*Dichanthium aristatum* (Poir.) C.E. Hubb.), la cual se dividió en 13 potreros de 713 m² con el fin de establecer un sistema rotacional de 2 días de ocupación y 24 días de descanso. Los ovinos salían a pastoreo en horas de la mañana (0800 h) y retornaban al aprisco en horas de la tarde (1600 h), donde eran separados por tratamiento para el ofrecimiento del suplemento.

Se emplearon 24 corderos criollos con peso inicial de 16 ± 2 kg y una edad de tres meses, los cuales se suplementaron durante 127 días, con dietas isoenergéticas e isoproteicas basadas en semilla de algodón (SA) y maíz molido (MM). El nivel de suplementación correspondió, en base seca, al 1% del peso vivo de los animales. La inclusión de la semilla de algodón y maíz molido en base seca variaron para así conformar los tratamientos a evaluar: T1) Pastoreo, T2) Pastoreo + 25% SA + 75% MM, T3) Pastoreo + 50% SA + 50% MM y T4: Pastoreo + 75% SA + 25% MM. Las dietas experimentales fueron formuladas de acuerdo con el NRC⁽¹¹⁾ atendiendo los requerimientos de proteína y energía metabolizable para una ganancia diaria de peso promedio de 160 g. Durante el ensayo se realizaron ajustes según el incremento de peso de los animales.

La calidad nutricional del forraje y suplementos se determinó de muestras compuestas. Las muestras de forraje se colectaron a través del método de simulación de pastoreo (*hand plucking*) por cada muestra de forraje se colectaron 500 g por muestra, las cuales se secaron en estufa de ventilación forzada a 60 °C por 48 h, posteriormente se molieron con un molino tipo Willey, mediante la utilización de una malla de un milímetro. El procesamiento de las muestras se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal de Agrosavia C.I. Turipaná, en donde se determinó proteína cruda (método Kjeldalh), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA) según el método de la Association of Official Analytical Chemists⁽¹²⁾ y la digestibilidad *in situ* de la materia seca (DISMS) según la técnica de la bolsa de nylon⁽¹³⁾. La composición nutricional de las dietas fue estimada de acuerdo con el Sistema de Nutrición para Pequeños Rumiantes (SRNS) (Cuadro 1). De igual forma, se determinó la composición de ácidos grasos de la pastura y fuentes alimenticias utilizadas (Cuadro 2).

Cuadro 1: Composición nutricional de las dietas utilizadas en la alimentación de los corderos

Componente	Composición nutricional de las dietas			
	(T0) Pastura	(T1) 25SA:75 MM	(T2) 50SA:50 MM	(T3) 75SA:25 MM
PC, %	13.0	14.8	15.6	15.0
EM, Mcal/kg	2.1	2.3	2.3	2.3
FDN, %	56.4	48.6	51.9	55.2
EE, %	2.4	3.6	4.9	6.1
Digestibilidad, %	48.0	56.2	58.6	59.0

SA= semilla de algodón; MM= maíz molido; PC= proteína cruda, EM= energía metabolizable, FDN= fibra detergente neutro, EE= extracto etéreo. T0= pastoreo, T1= pastoreo + 25% semilla de algodón (SA)+ 75% maíz molido (MM), T2= pastoreo + 50% SA + 50% MM y T3= pastoreo + 75% SA + 25% MM.

Cuadro 2: Perfil de ácidos grasos (%) para la pastura, semilla de algodón y maíz molido, empleados en la alimentación de los corderos

Ácidos grasos	Pastura	Semilla de algodón	Maíz molido
Saturados			
C12:0 (Láurico)	0.010	0.004	-
C14:0 (Mirístico)	0.005	0.170	0.001
C16:0 (Palmítico)	0.490	5.560	0.260
C18:0 (Esteárico)	0.085	0.770	0.050
C20:0 (Araquídico)	0.030	0.090	0.010
C22:0 (Behénico)	0.025	0.050	-
C24:0 (Lignocérico)	0.030	0.030	0.010
Monoinsaturado			
C18:1.9 (Oleico)	0.135	4.370	0.660
Poliinsaturados			
C18:2 (Linoleico)	0.875	18.780	1.740
C18:3 (Linolénico)	2.800	0.100	0.050
AGS	0.675	6.674	0.331
AGM	0.135	4.370	0.660
AGP	3.675	18.880	1.790

AGS= ácidos grasos saturados, AGM= ácidos grasos monoinsaturados, AGP= ácidos grasos poliinsaturados.

Para determinar el consumo de materia seca (CMS) fue necesario estimar el volumen de heces y la digestibilidad del alimento, para lo cual se utilizó óxido de cromo (Cr_2O_3) como marcador externo y la fibra detergente ácida indigerible como marcador interno (FDAi). Para la estimación de la producción de heces, el Cr_2O_3 fue dosificado diariamente vía oral durante 15 días. La dosificación se realizó mediante cápsulas de gelatina de 1 g, a las 0700 h. En los últimos cinco días de la dosificación, se realizó la colecta de heces directamente de la ampolla

rectal dos veces al día a las 0800 y 1600 h. Las muestras fecales se homogenizaron para formar una muestra compuesta por animal. Posteriormente, las muestras se secaron en una estufa de ventilación forzada a 60 °C durante 48 h y se molieron utilizando una malla de 1 mm. Para la determinación de la concentración del Cr₂O₃ en las heces se utilizó la metodología de digestión por microondas (3051) propuesta por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos⁽¹⁴⁾. La producción fecal estimada en gramos de materia seca por día (g MS.día⁻¹), se obtuvo mediante el cociente de las dosis del marcador, dividido por la concentración del marcador en las heces⁽¹⁵⁾.

Posterior a 45 días de haberse iniciado el experimento, se tomaron 3 g de muestras compuestas de pasto, suplementos alimenticios y heces de cada animal para determinar la FDAi. Las muestras se empacaron por triplicado en bolsas de nylon de 5 x 12 cm, las cuales se fijaron a la cánula mediante nylon de 10 cm de longitud. Las bolsas ya sujetas a la cadena se remojaron tres veces en un balde con agua limpia y luego se introdujeron en el rumen de un bovino macho fistulado con una dieta basada en pastoreo, donde permanecieron durante 144 h. Al final las bolsas se retiraron y se lavaron con agua limpia. Las bolsas se secaron a 60 °C durante 24 h, se retiraron los residuos correspondientes a las repeticiones de cada muestra, para luego ser sometidas durante una hora en solución en detergente ácido y lavadas con agua caliente y acetona; una vez secadas las muestras el residuo se consideró como la FDAi⁽¹⁶⁾. Con base en la FDAi se estimó la digestibilidad de la MS utilizando la ecuación (Ec.1)⁽¹⁷⁾.

$DMS = 100 - 100 \times (\% \text{ de marcador en la MS del alimento}) \times (\text{tasa de recuperación del marcador en las heces}) / (\% \text{ del marcador en la MS de las heces})$ (Ec. 1).

El CMS se determinó en función de la producción fecal y la digestibilidad estimada con el marcador interno (Ec. 2). Para ello, se utilizó la ecuación establecida por Ramírez *et al*⁽¹⁵⁾.

$$\text{Consumo voluntario (g/d)} = \frac{(\text{Producción fecal, g MS/d})}{\left[1 - \left(\frac{\text{Dig MS}}{100}\right)\right]} \text{ (Ec.2).}$$

Posterior a 127 días de evaluación, los animales se transportaron en camión hasta una planta de matanza y procesado privada adaptada y autorizada por la autoridad competente para el sacrificio de ovinos (registro INVIMA 007OC), ubicada en el municipio de Cereté (Colombia). Previo a la matanza, los ovinos se sometieron a ayuno por un período de 12 h con acceso a agua. Se siguieron los protocolos técnicos establecidos por la planta que incluyen matanza utilizando una pistola de perno cautivo para el aturdimiento de los ovinos. Posteriormente, se determinó el peso de la canal caliente (PCC) y luego de permanecer 24 h a 4 °C, el peso de canal fría (PCF). Se calculó el rendimiento de canal en caliente y frío como la relación entre el PCC, PCF y el peso vivo (PV) en ayuno.

De cada canal, se obtuvieron 200 g de músculo *Longissimus dorsi* obtenido de la media canal izquierda de cada animal, entre la decimoprimera y decimotercera costilla. Los lípidos totales se extrajeron por duplicado mediante el procedimiento de extracto etéreo; para tal fin se pesaron 2 g de muestra y se lavó con un solvente en un equipo Golfish® para la extracción de grasa con éter de petróleo por un tiempo de 5 h. El contenido de lípidos totales se determinó gravimétricamente por diferencia de peso en los vasos de extracción. La metilación de los ácidos grasos se realizó sobre 50 a 60 mg del extracto lipídico agregándole 500 µl de KOH 1N en metanol con agitación; posteriormente se agregaron 700 µl de xileno para permitir la separación completa de los ésteres metílicos de los ácidos grasos en dos fases; de la fase oleosa (xileno) se tomaron 100 µl y se le adicionaron 50 µl de xileno creando una dilución de la cual se inyectó una alícuota de 5 µl en un cromatógrafo de gases marca Agilent Technologies modelo 6890N®, acoplado a un detector de ionización de llama (FID) equipado con una columna DB-225 y un autoinyector Split/Splitless. Las condiciones de operación fueron las siguientes: el volumen de inyección fue de 2 µl (a 250 °C), el gas portador fue helio (1 ml/min), y la temperatura del detector se mantuvo constante a 220 °C. Se inició con una temperatura de 70 °C y se programó una rampa de calentamiento por intervalos de tiempo hasta alcanzar una temperatura de 220 °C con incremento de 2 °C por minuto. La identificación de los ácidos grasos (AG) se basó en la comparación de tiempos de retención del patrón y el área bajo la curva de los picos. Los AG se cuantificaron usando el software de estación de trabajo Galaxie (Varian Inc., Palo Alto, California, EE.UU.).

Una vez identificados los ácidos grasos, se establecieron la sumatorias total de ácidos grasos saturados (AGS), monoinsaturados (AGM), poliinsaturados (AGP) y calculada la relación AGM:AGS, AGP:AGS. Los ácidos grasos deseables (AGD) se calcularon teniendo en cuenta los ácidos monoinsaturados, poliinsaturados y esteárico⁽¹⁸⁾. Asimismo, para determinar el potencial de obstrucción de las arterias se estableció el índice de aterogenicidad mediante la ecuación propuesta por Ulbrich y Southgate⁽¹⁹⁾, $IA = (C12:0 + 4 * C14:0 + C16:0) / AG$ insaturados.

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos y seis repeticiones para evaluar el efecto de los porcentajes de inclusión de la SA y MM sobre las características de la canal y el perfil de ácidos grasos de la carne de ovinos. El modelo matemático que describió el diseño fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_j + e_{ij}$$

Donde.

Y_{ij} , es la variable respuesta; μ es la media general;

T_j es el efecto del j-esimo tratamiento;

e , es el error aleatorio de la i-esima replica que recibió el j-esimo tratamiento, distribuido N(0,1) y σ^2 constante.

Se realizó análisis de varianza (ANOVA), previo cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de los datos, para lo cual se utilizó la prueba de Shapiro Wilk y Levene, respectivamente. Para el análisis de los datos se utilizó el procedimiento GLM del paquete de análisis estadístico SAS⁽²⁰⁾. Las medias de tratamiento se compararon utilizando la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$.

Para la realización de este estudio se contó con el aval del Comité de Ética de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de Córdoba.

Resultados

La suplementación con semilla de algodón y maíz molido influyó la ingestión de materia seca de los ovinos. El consumo observado en los animales del tratamiento 75SA:25 MM, fue de 1.4 kg.d⁻¹ con diferencia ($P \leq 0.05$) al obtenido por los animales del tratamiento testigo, los cuales presentaron consumos medios de 0.514 kg.d⁻¹. Sin embargo, no se observaron diferencias del consumo en los animales que recibieron suplementación 25SA:75MM, 50SA:50MM y 75SA:25MM (Cuadro 3).

Cuadro 3: Consumo promedio de materia seca y de nutrientes de ovinos criollos suplementados con semilla de algodón y maíz molido

Variables	(T0) Pastura	(T1) 25SA:75 MM	(T2) 50SA:50 MM	(T3) 75SA:25 MM	<i>P</i>
CMST, kg.día ⁻¹	0.514 ^b	0.788 ^{ab}	1.020 ^{ab}	1.400 ^a	0.0366
CMSF, kg.día ⁻¹	0.514 ^b	0.463 ^b	0.695 ^{ab}	1.070 ^a	0.0021
Suplemento, kg.día ⁻¹	-	0.325	0.325	0.325	-
CPB, kg.día ⁻¹	0.121	0.160	0.169	0.178	-
CEM, Mcal.día ⁻¹	1.960	2.530	2.440	2.360	-

SA= semilla de algodón; MM= maíz molido; CMST= consumo de materia seca total, CMSF= consumo de materia seca de forraje, CPB= consumo de proteína bruta, CEM= consumo de energía metabolizable.

^{ab} Letras diferentes en las filas difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

El peso vivo a la matanza difirió ($P \leq 0.05$), al igual que el PCC, PCF, siendo las canales de los animales del tratamiento testigo las menos pesadas. De igual forma, se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) para el RCF, presentando los animales del tratamiento 50SA:50MM, los mayores rendimientos con un 45.17 % superando en 5.6, 3.8 y 3.0 unidades porcentuales a los rendimientos registrados en las canales de los tratamientos pastura, 25SA:75MM, y 75SA:25MM, respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4: Características de la canal de ovinos criollos suplementados con semilla de algodón y maíz molido

Variable	(T0) Pastura	(T1) 25SA:75 MM	(T2) 50SA:50 MM	(T3) 75SA:25 MM	<i>p</i>	R ²	CV (%)
PVM	23.30 ^b	32.03 ^a	31.78 ^a	32.65 ^a	0.0063	0.80	12.7
PCC, kg	11.00 ^b	15.26 ^a	16.03 ^a	15.40 ^a	0.0098	0.68	13.7
PCF, kg	9.51 ^b	13.54 ^a	14.48 ^a	13.90 ^a	0.0052	0.71	14.1
RCF, %	39.51 ^b	41.33 ^{ab}	45.17 ^a	42.14 ^{ab}	0.0290	0.62	5.5

SA= semilla de algodón; MM= maíz molido; PVM= peso vivo a la matanza, PCC= peso canal caliente, PCF= peso canal fría, RCF= rendimiento canal fría.

^{ab} Letras diferentes en las filas difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

A pesar de que no hubo diferencia en el peso a la matanza entre los animales que recibieron suplementación, el tratamiento 75SA:25MM resultó ser el más económico, ya que empleó US\$10.4 en la compra del suplemento, a diferencia de los tratamientos 25SA:75MM y 50SA:50MM, los cuales incurrieron en un gasto en la suplementación de US\$13.1 y US\$11.6, respectivamente. La viabilidad del tratamiento 75SA:25MM se debió a un menor costo de la semilla de algodón y al mayor nivel de inclusión implementado.

Se encontró efecto significativo ($P \leq 0.05$) de las dietas evaluadas sobre la proporción de los AGM. El tratamiento 50SA:50MM, presentó la mayor concentración con un 10.14 % seguido de los tratamientos 25SA:75MM y 75SA:25MM con 9.0 y 7.44 %, respectivamente, mientras que el tratamiento testigo fue el que registró la menor proporción 3.29 % (Cuadro 5). Se identificaron diferencias ($P \leq 0.05$) en la proporción de AGP. Los tratamientos 25SA:75MM, 50SA:50MM y 75SA:25MM registraron la mayor abundancia 1.52 %, con relación al tratamiento testigo (0.78 %). La proporción de ácido graso linoleico (C18:2), varió de 0.5 % en el tratamiento testigo a 1.47 % en el tratamiento 75SA:25MM ($P \leq 0.05$). En lo que respecta al ácido graso linolénico (C18:3) no se detectaron diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos, con un valor medio de 0.2 %.

Cuadro 5: Perfil de ácidos grasos (%) en la carne de ovinos criollos suplementados con semilla de algodón y maíz molido

Ácidos grasos	(T0) Pastura	(T1) 25SA:75 MM	(T2) 50SA:50 MM	(T3) 75SA:25 MM	<i>p</i>	R ²	CV (%)
Saturados	4.67 ^b	11.70 ^{ab}	13.51 ^a	10.78 ^{ab}	0.017	0.46	39.4
C10:0 (Cáprico)	0.01	0.02	0.03	0.03	0.230	0.24	56.6
C12:0 (Láurico)	0.01	0.03	0.03	0.02	0.234	0.27	77.5
C14:0 (Mirístico)	0.15	0.45	0.50	0.36	0.128	0.54	49.7
C16:0 (Palmítico)	1.82 ^b	5.16 ^{ab}	6.05 ^a	4.71 ^{ab}	0.075	0.59	43.6
C18:0 (Esteárico)	2.63 ^b	6.00 ^{ab}	6.83 ^a	5.60 ^{ab}	0.058	0.61	35.6
C20:0 (Araquídico)	0.03	0.04	0.05	0.04	0.698	0.10	43.7
C22:0 (Behénico)	0.01	.	0.02	0.01	0.247	0.43	28.1
C24:0(Lignocérico)	0.02	.	.	0.02	0.667	0.11	32.9
Monoinsaturados	3.29 ^b	9.02 ^{ab}	10.14 ^a	7.44 ^{ab}	0.043	0.53	48.9
C18:1 (Oleico)	3.29 ^b	9.02 ^{ab}	10.14 ^a	7.44 ^{ab}	0.043	0.53	48.9
Poliinsaturados	0.78 ^b	1.42 ^{ab}	1.57 ^a	1.59 ^a	0.013	0.48	28.5
C18:2 (Linoleico)	0.50 ^b	1.19 ^a	1.39 ^a	1.47 ^a	0.004	0.77	25.4
C18:3 (Linolénico)	0.28	0.23	0.17	0.12	0.185	0.50	55.0
AGM:AGS	0.72	0.75	0.73	0.69	0.745	-	11.7
APS:AGS	0.20 ^a	0.12 ^b	0.12 ^b	0.15 ^{ab}	0.015	0.47	24.7
AGD	6.71 ^b	16.45 ^{ab}	18.54 ^a	14.64 ^{ab}	0.028	0.42	41.4
IA	0.45	0.51	0.53	0.50	0.182	0.30	9.86

SA= semilla de algodón; MM= maíz molido; *P*= probabilidad, R²= coeficiente de determinación, CV= coeficiente de variación. AGM/AGS= monosaturados:saturados, AGP/AGS= poliinsaturados:saturados, AGD= ácidos grasos deseables, IA= índice de aterogenicidad.

^{ab} Letras diferentes en las filas difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Para la relación de los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados no se observaron diferencias ($P > 0.05$) entre los tratamientos, con valores medios de 0.72; sin embargo para la relación AGP:AGS el análisis detectó efecto significativo ($P \leq 0.05$), registrando el tratamiento testigo la mayor relación (Cuadro 5). El índice de aterogenicidad (IA) de la carne de cordero osciló entre 0.45 a 0.53, sin diferencias ($P > 0.05$) entre las dietas evaluadas.

Discusión

De acuerdo con los resultados expuestos en el Cuadro 3, los mayores consumos observados en los animales que recibieron suplementación pueden ser atribuidos a una mayor calidad nutricional de la dieta (Cuadro 1), la cual generó probablemente un mayor aporte de energía

y de proteína, mejorando así el ambiente ruminal y favoreciendo la tasa de pasaje de la materia orgánica ingerida. Estos resultados son consistentes con la tendencia estadística observada en el consumo de forraje, en la cual se observa que los animales que se mantuvieron en los tratamientos 50SA:50MM y 75SA:25MM incrementaron su consumo de forraje en 1.21 y 2.08 veces más, comparados con los animales sin suplementar. En general, el nivel de consumo de materia seca y de nutrientes hallado en los animales que recibieron suplementación fue adecuada para ovinos de 30 kg de peso vivo⁽¹¹⁾. Resultados semejantes a los de este estudio fueron reportados por Cunha *et al*⁽²¹⁾, quienes valoraron la inclusión de semilla de algodón en un 20, 30 y 40 % en la dieta para ovinos Santa Inés notificaron consumos medios de 1.23, 1.12 y 1.19 kg.día⁻¹, respectivamente. De igual forma, De Sousa⁽²²⁾ al evaluar la inclusión de semilla de algodón en un 7, 14, 21 y 28 % en la alimentación de ovinos en confinamiento, observó que el consumo tuvo un comportamiento lineal decreciente conforme se aumentó el aporte de semilla de algodón, reportando valores medios de 1.12, 1.16, 1.02 y 0.82 kg.día⁻¹, respectivamente, consumos ligeramente superiores a los encontrados en el presente estudio.

La reducción en el CMS de ovinos suplementados con semilla de algodón está directamente relacionada al nivel de inclusión en la dieta y a su relación con el contenido de extracto etéreo, generalmente superior al 6 % en la dieta⁽²³⁾. Al respecto Junior *et al*⁽²⁴⁾ reportaron disminución en el consumo de ovinos Santa Inés x Dorper a partir del 21.55 % de inclusión de semilla de algodón en la dieta, con un porcentaje de EE de 4.89 %, efecto contrario fue observado en el presente estudio, particularmente en el tratamiento 75SA:25MM, en donde la inclusión de semilla de algodón representó el 17.4 % del consumo total de materia seca con un aporte del 6.1 % de EE, dichos niveles no afectaron la digestibilidad de la materia orgánica ingerida. En este sentido, Cunha *et al*⁽²¹⁾ indican que la inclusión de semilla de algodón hasta en un 25 y 30 % de la ración total, no afecta la digestibilidad de la fibra, lográndose mantener consumos adecuados.

Los resultados alcanzados en este estudio demuestran que el aporte de energía y proteína a partir del suplemento es utilizado con mayor eficiencia para las ganancias de peso, viéndose reflejado en un mayor peso vivo y rendimientos cárnicos. Con base en esta afirmación, la respuesta animal puede verse influenciada por el tipo de alimento⁽²⁵⁾. Por lo tanto, el bajo desempeño expuesto por los animales que recibieron solo pastura pueden ser explicado por el bajo consumo de proteína y energía que en el caso de este tratamiento el aporte de estos nutrientes fue dado por las gramíneas pastoreadas. Al respecto Calsamiglia⁽²⁶⁾, afirma que cuando los ovinos consumen sólo forrajes y el valor nutricional de los mismos es de baja calidad, la ingestión de nutrientes puede resultar inadecuada para obtener niveles de producción aceptables. Los valores medios de PV, PCC, PCF y RCF obtenidos en este estudio son superiores a los reportados por Viana⁽²⁷⁾, quien evaluando la sustitución de concentrado por la semilla de algodón en un 40 % en la dieta de ovinos Santa Inés reportó valores de 32.4, 13.05, 12.71 kg y 42.64 %, respectivamente para PV, PCC, PCF y RCF.

Asimismo, a los obtenidos por Pires *et al*⁽²⁸⁾, los cuales registraron PCC y PCF de 13.0 y 12.5 kg en ovinos Santa Inés puros; pero similares a los publicados por Yamamoto *et al*⁽²⁹⁾, quienes evaluaron diferentes fuentes de aceites vegetales en ovinos Santa Inés y Dorset x Santa Inés, reportando valores PCC y PCF 14.56 y 14.18 kg para Santa Inés y 14.45 y 14.14 kg para el cruce entre Dorset x Santa Inés, respectivamente.

Las concentraciones de AGS en el músculo *Longissimus dorsi* presentó diferencias ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos evaluados (Tabla 5). En este sentido, el tratamiento testigo registró la menor proporción de AGS ($P \leq 0.05$), con relación a las proporciones de AGS de la carne de los tratamientos con suplementación. Las mayores concentraciones de AGS observadas en la carne de los animales que recibieron suplementación (T1, T2 y T3) pueden estar relacionadas con la composición nutricional de las dietas que consumieron, ya que se observó un mayor aporte de AGS. Madruga *et al*⁽³⁰⁾ manifestaron que la alimentación con semilla de algodón contribuye a incrementar la proporción de AGS en la carne de ovinos debido a su alta concentración de extracto etéreo.

Dentro de los AGS, el ácido palmítico (C16:0) y el ácido esteárico (C18:0), fueron influenciados ($P \leq 0.05$) por las dietas evaluadas. Los ácidos grasos mirístico (C14:0) y palmítico (C16:0) son considerados hipercolesterolémicos; sin embargo, el esteárico (C18:0) a pesar de que es un ácido graso saturado y que representa entre 10 y 20 % de las grasas producida por lo rumiantes, no tiene esta propiedad⁽³⁰⁾. El ácido esteárico presentó las mayores ($P \leq 0.05$) proporciones en los tratamientos que recibieron semilla de algodón con relación al tratamiento testigo, resultados interesantes considerando el ácido esteárico es precursor del ácido oleico (C18:1), que es un ácido abundante en la carne de corderos⁽³¹⁾. El porcentaje del ácido mirístico (C14:0) no difirió ($P > 0.05$) entre los tratamientos, lo cual es conveniente cuando se piensa en los beneficios de la salud humana, ya que este es un ácido hipercolesterolémico. Sin embargo, para la proporción del ácido palmítico (C16:0) ésta fue mayor ($P \leq 0.05$) en los tratamientos suplementados. Para algunos investigadores^(30,32), las altas concentraciones de ácidos hipercolesterolémicos pueden conducir a aumentos de la síntesis de colesterol y promover la acumulación de lipoproteínas de baja densidad, que representan un factor de riesgo para la aparición de enfermedades cardiovasculares. Las concentraciones halladas en el presente estudio son menores a las señaladas en otros trabajos^(22,33), donde evaluaron porcentajes de inclusión de semilla de algodón entre un 15 y 30 % en la dieta de ovinos Santa Inés, y reportaron concentraciones de ácidos hipercolesterolémicos 71 % superiores a los alcanzados en este estudio.

El contenido de los ácidos grasos monoinsaturados (oleico C18:1) varió entre los diferentes tratamientos, siendo influenciado ($P \leq 0.05$) por las dietas. Asimismo, la proporción de los ácidos grasos poliinsaturados (sumatoria de C18:2, linoleico y C18:3, linolénico) también fueron afectados ($P \leq 0.05$) por las dietas, presentando los tratamientos con suplementación las mayores proporciones. Con relación a estos resultados, Madruga *et al*⁽³⁰⁾ reportaron

valores superiores a los del presente estudio; sin embargo, estos autores no encontraron diferencias en las concentraciones de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados al evaluar la inclusión de semilla de algodón en un 20, 30 y 40 en la dieta de ovinos Santa Inés, lo cual contrasta con los resultados obtenidos en esta investigación, en donde la inclusión de la semilla de algodón produjo un aumento significativo de las concentraciones de los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados a favor de los tratamientos que recibieron semilla de algodón.

El aumento de los ácidos grasos insaturados es benéfico para la salud humana, por ser hipocolesterolémicos, ya que tienden a disminuir el colesterol en sangre^(34,35). En este estudio se observó un aumento ($P \leq 0.05$) en las proporciones de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados en la carne de los animales vinculados a los tratamientos con suplementación. Los factores que pudieron haber contribuido a estos resultados, están relacionados con el contenido nutricional de las fuentes alimenticias utilizadas, las cuales generaron un aumento de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados en la carne. Otra justificación a los resultados obtenidos puede ser a que la dieta de los tratamientos que recibieron suplementación presentó una mayor digestibilidad, lo cual, promovió posiblemente una mayor tasa de pasaje del material orgánico ingerido, con lo que se pudo generar una biohidrogenación incompleta a nivel ruminal. Al respecto, Bauman *et al*⁽³⁶⁾ afirman que dietas con mayor proporción de concentrados aumentan la tasa de pasaje en rumen.

Por su parte, Vargas *et al*⁽³⁷⁾ indicaron que, en dietas con mayor proporción de ácido linoleico en comparación con ácido linolénico, contribuyen a mayor acumulación y tasa de pasaje de ácido linoleico por escape al proceso de biohidrogenación total. Estos mismos autores indican que la acumulación de ácido linoleico, debido a su menor tasa de biohidrogenación, contribuye a incrementar la tasa de pasaje de ácidos grasos de configuración *trans* (ácido linoleico conjugado y ácido vaccénico) como producto del proceso incompleto de biohidrogenación. Lo anterior sugiere que las dietas que incluyeron semilla de algodón pudieron afectar el proceso de biohidrogenación, como lo sugiere la tendencia a menor proporción de ácido graso esteárico y oleico en el tratamiento que recibió 75SA:25MM comparado con los demás tratamientos suplementados. Esto pudo generar una acumulación y mayor tasa de pasaje de ácido linoleico y posiblemente sus productos intermedios de biohidrogenación, al evidenciar una mayor participación de este ácido graso en el músculo de los corderos suplementados, *versus* el tratamiento testigo. Es importante resaltar que el ácido linoleico es considerado un ácido graso esencial para los humanos, cuya única fuente es la dieta⁽³⁸⁾.

La relación AGP:AGS, hallada en este estudio estuvieron dentro del rango 0.15 a 0.25 propuesto para animales criados a pastoreo^(39,40). De acuerdo con Jakobsen⁽⁴¹⁾, se debe reducir la ingestión de grasas ricas en colesterol y ácidos grasos saturados y aumentar el consumo de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, ya que, contribuyen a reducir los riesgos

de obesidad, cáncer y enfermedades cardiovasculares. Las grasas que presentan una baja relación de AGP:AGS son consideradas no favorables, ya que pueden inducir un incremento de colesterol en la sangre⁽⁴²⁾.

Los ácidos grasos deseables en los tratamientos suplementados fueron superiores en un 60 % ($P \leq 0.05$) con relación al tratamiento testigo, estos resultados pueden deberse posiblemente al efecto de la dieta, ya que los tratamientos que recibieron semilla de algodón y maíz molido realizaron un mayor aporte de AGM y AGP, lo cual generó incrementos significativos en las proporciones de estos ácidos en la carne. Este efecto se considera adecuado dado a que los AGM y AGP reducen los niveles de lipoproteínas de baja densidad y consecuentemente el riesgo de padecer obesidad, cáncer y enfermedades cardiovasculares^(42,43). Sin embargo, los resultados encontrados en este estudio son inferiores a los reportados en la literatura^(31,42,43), debido posiblemente a los mayores niveles de inclusión de semilla de algodón evaluados en la dieta de ovinos Santa Inés, los cuales oscilaron entre un 15 y 40 %.

Con relación al índice de aterogenicidad (IA), este indica el potencial de estímulo de agregación plaquetaria, y sugiere que, a valores bajos de IA, mayor es la cantidad de ácidos grasos antiaterogénicos y mayor es el potencial de prevención de la aparición de enfermedades cardiovasculares⁽⁴¹⁾. Los resultados hallados en este estudio están dentro de los valores recomendados por Ulbricht y Southgate⁽¹⁹⁾, los cuales proponen un valor ideal de <1.0 para carne de cordero.

Conclusiones e implicaciones

La suplementación con semilla de algodón y maíz molido promovió un mayor peso a la matanza y rendimiento en canal, asimismo, logró aumentar las concentraciones de los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados en la carne de ovinos. A pesar de que no se observó disminución en la digestibilidad y consumo de materia seca en los tratamientos que recibieron suplementación con semilla de algodón, se recomienda adelantar más estudios para determinar el máximo nivel de inclusión de esta materia prima en las dietas para pequeños rumiantes. Bajo las condiciones de este estudio se recomienda suplementar a razón del 1 % del peso vivo y utilizar la semilla de algodón y maíz en las proporciones 75:25, ya que desde el punto económico resultó ser la dieta con los menores costos.

Agradecimientos

A la Universidad de Córdoba por la financiación del proyecto de investigación (Código 11901) y a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Asimismo, al Departamento

Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación COLCIENCIAS y al fondo de regalías del departamento de Sucre por la beca otorgada al primer autor.

Literatura citada:

1. Socarrás ZM, Fandiño R, Miranda Á, Fernández RG. Manejo de ovinos de pelo en el trópico. Valledupar, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica; 2009.
2. Osti NP, Pandey SB. Use of whole cotton seed and cotton seed meal as a protein source in the diet of ruminant animals: Prevailing situation and opportunity. 6th National Workshop on Livestock and Fisheries Research. Khumaltar, Nepal. 2006:111-119.
3. Akande KE. Major antinutrients found in plant protein sources: their effect on nutrition. *Pak J Nutr* 2010;9(8):827-832.
4. Paim TP, Louvandini H, Mcmanus CM, Abdalla AL. Uso de subprodutos do algodão na nutrição de ruminantes. *Ciênc Vet Tróp* 2010;(13):24–37.
5. Calkins CR, Hodgen JM. A fresh look at meat flavor. *Meat Sci* 2007;(77):63-80.
6. Linares M Gallo C. Perfil de ácidos grasos de carne de ovino y caballo criados bajo un sistema de producción extensiva. *Rev Investig Vet* 2013;24(3):257-263.
7. Bhattacharya A, Banu J, Rahman M, Causey J, Fernandes G. Biological effects of conjugated linoleic acids in health and disease. *J Nutr Biochem* 2007;17(12):789-810.
8. Zhang RH, Mustafa AF, Zhao X. Effects of feeding oilseeds rich in linoleic and linolenic fatty acids to lactating ewes on cheese yield and on fatty acid composition of milk and cheese. *Anim Feed Sci Technol* 2006;(127):220–233.
9. Berthelot V, Bas P, Pottier E, Normand J. The effect of maternal linseed supplementation and/or lamb linseed supplementation on muscle and subcutaneous adipose tissue fatty acid composition of indoor lambs Effects on methane production, rumen fermentation, and milk production. *Meat Sci* 2012;(90):548–557.
10. Peng YS, Brown MA, Wua JP, Liu Z. Different oilseed supplements alter fatty acid composition of different adipose tissues of adult ewes. *Meat Sci* 2010;(85):542–549.
11. NRC, National Research Council. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World camelids. Washington; DC, USA: National Academic Press; 2007.
12. AOAC, Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. XIII ed. Washington; DC, USA; 2002.

13. Orskov ER, Howell FD, Mould F. The use of nylon bag technique for the evaluation of feedstuff. *Trop Anim Prod* 1980;15(3):195-213.
14. EPA. Method 3051A, Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soil and oil; 2007.
15. Ramírez-Pérez AH, Buntinx SE, Tapia-Rodríguez CY, Rosiles R. Effect of breed and age on the voluntary intake and the micromineral status of non-pregnant sheep. 1. Estimation of voluntary intake. *Small Ruminant Res* 2000;(37):223–229.
16. Ferreira MA, Valadares FSC. Avaliação de indicadores em estudos com ruminantes: digestibilidade. *Rev Bras Zootec* 2009;38(8):1568-1573.
17. Correa H, Pabón M, Sánchez M, Carulla J. Efecto del nivel de suplementación sobre el uso del nitrógeno, el volumen y la calidad de leche en vacas Holstein de primero y segundo tercio de lactancia en el trópico alto de Antioquia. *Livest Res Rural Develop* 2011;23(4). <http://www.lrrd.org/lrrd23/4/corr23077.html>.
18. Landim LA, Cardoso M, Castanheira M, Fioravanti M, Louvandini H, Mcmanus C. Fatty acid profile of hair lambs and their cross-breds slaughtered at different weights. *Trop Anim Health and Prod* 2011;(43):1561-1566.
19. Ulbricht TL, Southgate DA. Coronary heart disease: seven dietary factors. *Lancet* 1991;(338): 985–992.
20. SAS. SAS/STAT User's Guide (Release 9.1.3). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 2007.
21. Cunha MGG, Carvalho FRR, Vêras ASV, Batista AMY. Desempenho e digestibilidade aparente em ovinos confinados alimentados com dietas contendo níveis crescentes de caroço de algodão integral. *Rev Bras Zootec* 2008;37(6):1103-1111.
22. De Sousa AR. Caroço de algodão moído na alimentação de cordeiros (as) em confinamento [tese mestrado]. Piracicaba, Brasil: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; 2014.
23. Palmquist DL. Digestibility of cotton lint ber and whole oilseeds by ruminal microorganisms. *Anim Feed Sci Technol* 1995;56(3):231-242.
24. Junior JR, Carvalho DMG, De Souza JG, Cabral LS, Da Silva JJ, Riveiro MD, Arnolde TRQ, De Oliveira AS, Soares JQ. Caroço de algodão em dietas sem volumoso para cordeiros confinados. *Semina: Ciênc Agrárs* 2015;36 (4):2727-2738.
25. Piona MNM, Cabral LS, Zervoudakis JT, Abreu JG, Galati RL, Caetano GGG, Silva AR. Níveis de Caroço de algodão na dieta de cordeiros confinados. *Rev Bras Saúde Prod Anim* 2012;13(1):110-122.

26. Calsamiglia SE. La suplementación en los ovinos. Memorias IV Congreso Nacional Ovinos, Querátaro, Mexico. 1998:64-75.
27. Viana GP. Desempenho e avaliação da carcaças de ovinos Santa Inês suplementados com caroço de algodão e seus co-produtos [PhD Dissertation]. Brasília, Brasil: Universidade de Brasília; 2011.
28. Pires CC, Galvani BD, Carvalho S, Cardoso RA, Gasperin BG. Características da carcaça de cordeiros alimentados com dietas contendo diferentes níveis de fibra em detergente neutro. Rev Bras Zootec 2006;35(5):2058-2065.
29. Yamamoto SM, Macedo FAF, Zundt M. Fontes de óleo vegetal na dieta de cordeiros em confinamento. Rev Bras Zootec 2005;34(2):703-710.
30. Madruga SM, Vieira LTR, Cunha GMG, Filho PMJ, Queiroga RC, Sousa HW. Efeito de dietas com níveis crescentes de caroço de algodão integral sobre a composição química e o perfil de ácidos graxos da carne de cordeiros Santa Inês. Rev Bras Zootec 2008;37(8):1496-1502.
31. Diaz MT, Álvarez I, De La Fuente J, Sañudo C, Campo MM, Oliver MA, Fontifurnols M, Montossi F, San Julián R, Nute GR, Cañeque V. Fatty acid composition of meat from typical lamb production systems of Spain, United Kingdom, Germany and Uruguay. Barking Meat Sci 2005;71(2):256-263.
32. Moloney AP, Mooney MT, Kerry JP, Troy DJ. Producing tender and flavor some beef with enhanced nutritional characteristics. Nutrition Society. Cork, Ireland. 2001:221-229.
33. Pérez LH. Milho, amido ou caroço de algodão associados a glicerina bruta em dietas para ovinos [PhD Dissertation]. Jaboticabal, Brasil: Universidade Estadual Paulista; 2015.
34. Williams CM. Dietary fatty acids human health. Annal de Zootec 2000;49(3):165-180.
35. Valsta LM, Tapanainen H, Männistö S. Meat fats in nutrition. Meat Sci 2005;70(3):525-530.
36. Bauman DE, Baumgard LH, Corl BA, Griinari JM. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. 91st American Society of Animal Science. Indianapolis, Indiana, USA. 1999:1-15.
37. Vargas JA, Olivera-Angel M, Ribeiro CV, Daza C, Edgar E. *In vitro* rumen biohydrogenation kinetics of mixed linoleic and alfa-linolenic acids. Rev Colomb Cienc Pecu 2018;31(3):213-222.

38. Wood JD, Enser M, Fisher AV, Nute GR, Sheard PR, Richardson RI. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci* 2008;78(4):343–358.
39. Lee J, Kannan G, Eega K, Kouakou B, Getz W. Nutritional and quality characteristics of meat from goats and lambs finished under identical dietary regime. *Small Ruminant Res* 2008;74:255- 259.
40. Dierking R, Kallenbach R, Grün I. Effect of forage species on fatty acid content and performance of pasture finished steers. *Meat Sci* 2010;85:597-605.
41. Jakobsen K. Dietary modifications of animal fats: status and future perspectives. *Fett Lipid* 1999;101(12):475-483.
42. Arruda PCL, Pereira ES, Pimentel PG, Bomfim MAD, Mizubuti IY, Ribeiro ELA, Fontenele RM, Regadas JGL. Perfil de ácidos graxos no *Longissimus dorsi* de cordeiros Santa Inês alimentados com diferentes níveis energéticos. *Semina: Ciênc Agrár* 2012; 33(3):1229-1240.
43. Paim TDP, Viana P, Brandão E, Amador S, Barbosa T. Carcass traits and fatty acid profile of meat from lambs fed different cottonseed by-products. *Small Ruminant Res* 2014;116:71-77.