



PRODUCTION AND MILK FATTY ACIDS PROFILE OF DAIRY GOATS FED WITH CANOLA SILAGE (*Brassica napus*) INSTEAD OF CORN SILAGE (*Zea mays*) IN TOTAL MIXED RATIONS †

[PRODUCCIÓN Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DE LA LECHE DE CABRAS ALIMENTADAS CON ENSILADO DE CANOLA (*Brassica napus*) EN SUSTITUCIÓN DE ENSILADO DE MAÍZ (*Zea mays*) EN RACIONES TOTALMENTE MEZCLADAS]

Luis Alberto Mejía-Urbe¹, Ignacio Arturo Domínguez-Vara¹, Fuensanta Hernández-Ruipérez² and Ernesto Morales-Almaráz^{1*}

¹ *Departamento de Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Universitario El Cerrillo Piedras Blancas, C.P. 50090, Toluca, México. Emails: *emoralesa@uaemex.mx, meul83@hotmail.com, igy92@hotmail.com,*

² *Departamento de Nutrición Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia, Avenida Teniente Flomesta, 5, 30003, Murcia, España. Email: nutri@um.es*

**Corresponding author*

SUMMARY

Background. Canola silage (EC) is a viable alternative to replace corn silage (EM) in ruminants feed, due to its nutritional value and source of polyunsaturated fatty acids to improve the quality milk fat. **Objective.** To evaluate the inclusion of EC as substitute for of EM in total mixed rations (TMR) on milk production, composition and fatty acids profile of goats at the end lactation. **Methodology.** Ten Alpine goats (49 ± 2.5 kg LW, 194 ± 18 days in lactation) were fed with completely mixed diets containing 25% EC plus 25% EM (experimental diet) and 50% EM (control diet). **Results.** Milk production in goats fed with EC was 33.46% higher ($P < 0.05$) than in goats eating only ME as forage. The content of rumenic and vaccenic acids in milk increased ($P < 0.05$) 60 and 57%, respectively, with the inclusion of EC in the diet. There were not differences ($P > 0.05$) in milk fat, protein and lactose content, nor in dry matter intake between treatments. **Implications.** EC as an alternative forage in combination with EM, it is a viable feeding strategy for small ruminants. **Conclusions.** The use of EC represents a feeding strategy to improve the fatty acid profile of milk without effecting the chemical composition of milk and the productive response of goats at the end of lactation. **Key words:** canola silage; fatty acids; rumenic acid; vaccenic acid; goat milk.

RESUMEN

Antecedentes. El ensilado de canola (EC) es una alternativa viable para sustituir al ensilado de maíz (EM) en la alimentación de rumiantes por su valor nutricional y fuente de ácidos grasos poliinsaturados para mejorar la calidad de la grasa de la leche. **Objetivo.** Evaluar la inclusión de EC en sustitución de EM en raciones completamente mezcladas (TMR) en la producción, composición y perfil de ácidos grasos de la leche de cabras al final de la lactancia. **Metodología.** Diez cabras Alpinas (49 ± 2.5 kg PV, 194 ± 18 días en lactación) fueron alimentadas con dietas completamente mezcladas con 25% de EC más 25% EM (dieta experimental) y con 50% de EM (dieta control). **Resultados.** La producción de leche en cabras que consumieron EC fue 33.46% mayor ($P < 0.01$) que en cabras que consumieron EM como forraje. El contenido de ácidos vaccénico y ruménico en leche aumentó 60 y 57%, respectivamente, con la inclusión de EC en la dieta ($P < 0.05$). No hubo diferencias ($P > 0.05$) en el contenido de grasa, proteína y lactosa en leche, ni en el consumo de materia seca entre los tratamientos. **Implicaciones.** El EC como forraje alternativo, combinado con EM, es una estrategia de alimentación viable para pequeños rumiantes. **Conclusiones.** El uso de EC representa una estrategia para mejorar el perfil de ácidos grasos de la leche sin afectar la composición química de la misma y la respuesta productiva de cabras al final de la lactancia. **Palabras clave:** Ensilado de canola; ácido ruménico; ácido vaccénico; leche; cabras.

† Submitted March 14, 2021 – Accepted March 10, 2022. <http://doi.org/10.56369/tsaes.3717>



INTRODUCCIÓN

En todo el mundo, el ensilado de maíz (EM) es una fuente de forraje en los sistemas de producción de leche provee carbohidratos solubles y energía para los microorganismos ruminales (Ferrareto *et al.*, 2017). Sin embargo, EM aporta poca proteína y es alto en FDN (Kaur *et al.*, 2009; Khrosravi *et al.*, 2018); además, el cultivo de maíz depende de una época determinada de siembra, limitando su disponibilidad como forraje durante largo periodo del año (Migliorati *et al.*, 2017). Por lo tanto, es necesario contar con otras fuentes de forraje alternativas para sustituir EM. En años recientes, ha crecido el interés por el uso de especies forrajeras del género *Brasicas* como fuente de proteína y ácidos grasos insaturados para la alimentación animal (Kincaid *et al.*, 2012; Limón-Hernández *et al.*, 2019). Pocos estudios han evaluado la producción y calidad de leche al incluir forraje fresco de brasicas en la dieta de rumiantes (Keim *et al.*, 2020; Castillo-Umaña *et al.*, 2020). Sin embargo, cuando se incluyó en la dieta de vacas lecheras ensilado o forraje fresco de brasicas no se observaron efectos negativos sobre la producción y composición química de leche (Kincaid *et al.*, 2012). Castillo-Umaña *et al.* (2020) sustituyeron ensilado de pasto por forraje fresco de canola (*Brassica napus L.*) en la dieta en vacas lecheras sin observar cambios en la producción y composición de la leche. Un incremento en la producción y contenido de ácidos grasos polinsaturados en leche de vacas fue observado por Williams *et al.* (2016) al incluir forraje de canola en la dieta. Por lo tanto, la canola, es una alternativa forrajera con potencial en la producción y calidad de la leche, debido a su alto aporte de proteína (>14%), energía metabolizable y bajo contenido de FDN (20-35%) (Reta-Sánchez *et al.*, 2015); además de que esta forrajera es fuente de ácidos grasos insaturados (Williams *et al.*, 2016; Limón-Hernández *et al.*, 2019).

En rumiantes, más de 70% de la grasa de la leche son ácidos grasos saturados (AGS), y en contraste, los ácidos grasos polinsaturados (AGPI) representan solo 3-5% del total de ácidos grasos (AG) en leche. ASG se relacionan con enfermedades cardio vasculares en humanos, mientras que AGPI son considerados esenciales para la salud humana (Park *et al.*, 2007). Los AGPI de la dieta, como linoleico (C18:2 *c9c12*) y linoléico (C18:3 *c9c12c15*), sufren extensa biohidrogenación (BH) microbiana en el rumen, y en este proceso se producen AG intermediarios como ácido ruménico (AR; C18:2 *c9t11*) y ácido vaccénico (VAC; C18:1 *t11*) (Buccioni *et al.*, 2012). El AR es importante en la prevención y control de enfermedades coronarias, hipertensión y cáncer en humanos (Parodi, 1999); es el isómero más abundante del ácido linoleico conjugado (ALC) presente en la leche, y su síntesis ocurre en el rumen por la BH microbiana del C18:2 *c9c12*, y en la glándula mamaria por medio de la actividad de la enzima $\Delta 9$ -desaturasa, a partir de ácido

VAC producido en rumen (Shingfield *et al.*, 2008). La hipótesis planteada en el presente estudio es que la sustitución de EM por EC no tiene efecto sobre el desempeño productivo y el contenido de componentes de la leche de cabras, pero si puede mejorar el contenido de ácidos grasos de la leche de cabras al final de la lactancia. El objetivo fue evaluar rendimiento, la composición y el perfil de ácidos grasos de la leche de cabras en lactación alimentadas con raciones completamente mezcladas con ensilado de canola y con ensilado de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El trabajo se llevó a cabo en otoño-invierno de 2018 en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicada a una longitud de 19° 24' 48'', latitud de 99° 40' 45'', con una altura de 2632 metros sobre el nivel del mar. Con un clima templado subhúmedo con lluvia en verano, y una temperatura media mensual 12-14°C y una precipitación anual de 800-1000mm (INEGI, 2018).

Animales y alimentación

Los procedimientos realizados en el manejo y cuidado de los animales experimentales, fueron con base en las normas oficiales mexicanas (NOM-062-ZOO-1999 y NOM-051-ZOO-1995). El forraje fresco de canola (*Brassica napus* var. Monty) fue cosechado a 140 días post-siembra. El mismo día de corte, el forraje se picó (SwisSmex SW610500. México; tamaño de partícula de 2-2.5cm) y se le adicionó melaza diluida en agua (4%, 1:1, p/v). Inmediatamente después, el forraje se conservó en bolsas de nylon selladas, y fueron abiertas a 35 días post-sellado para uso del ensilado de canola en la alimentación de las cabras. Se utilizaron 10 cabras de raza Alpina al final de la lactancia (190 días). Las cabras fueron distribuidas aleatoriamente a uno de dos grupos homogéneos según el peso vivo (PV, 49 ± 2.5 kg) y producción de leche (405 ± 199.7 g/d). Durante el periodo experimental se ofreció a los animales una ración totalmente mezclada y formulada para cubrir las necesidades nutricionales de acuerdo con NRC (2007). Los tratamientos fueron: Dieta control (CTRL) en base seca estuvo compuesta con 50% ensilado de maíz, 10% rastrojo de maíz, 7.5% sorgo molido, 14% harina de soya, 16% salvado de trigo, y 2.5% de premezcla de vitaminas y minerales; la dieta con ensilado de canola (25EC) estuvo compuesta con 25% ensilado de canola, 25% ensilado de maíz, 10% rastrojo de maíz, 20.5% sorgo molido, 9% harina de soya, 8% salvado de trigo, 2.5% de premezcla de vitaminas y minerales. Las cabras fueron alojadas en corraletas individuales (1.5 x 1.5 m) provistas con comedero y bebedero.

Desarrollo experimental

Las cabras tuvieron un periodo de adaptación a las dietas experimentales de 15 días y 10 días de medición. Las cabras se pesaron al inicio y al final del periodo experimental. La alimentación se realizó dos veces al día (09:00h y 16:00h). Diariamente se realizó un ordeño de las cabras (08:30h) con ordeñadora mecánica (De Laval®, Suecia); se registró la cantidad de alimento ofrecido y rechazado para estimar el consumo de materia seca; la producción de leche fue pesada individualmente en cada ordeño. Se colectaron muestras del alimento ofrecido y de la leche de cada cabra, las cuales se identificaron y conservaron (-20°C) para su posterior análisis en laboratorio.

Análisis de laboratorio

En las dietas se determinó materia seca (MS), materia orgánica (MO), extracto etéreo (EE) y proteína cruda (PC) con base en los procedimientos de AOAC (2012); las fibras detergente neutro (FDN) y detergente ácido (FDA) se determinaron por el método de Van Soest *et al.* (1991). La energía bruta (EB) de las dietas se determinó por calorimetría (Parr 6400 Calorimeter, USA). La composición química (proteína, grasa y lactosa) se determinó usando un equipo analizador de leche (Lactoscan® S-L 60, Bulgaria). El contenido de ácidos grasos (AG) de las dietas se determinó mediante la técnica descrita por Sukhija y Palmquist (1988), con modificaciones de Palmquist y Jenkins (2003), utilizando ácido clorhídrico metanólico a 10% en la esterificación de los ácidos grasos, y hexano como solvente orgánico. El perfil de AG en la leche se realizó de acuerdo con la técnica descrita por Feng *et al.* (2004). La metilación de las muestras se realizó utilizando la metodología descrita por Christie (1982) modificada por Chouinard *et al.* (1999). Los ésteres metílicos de los AG de la leche y de los alimentos fueron separados y cuantificados por cromatografía de gases (Perkin Elmer Claurus 500, USA) con una columna capilar de 100m x 0.25mm x 0.2 µm (SUPELCO TM-2560) utilizando gas nitrógeno como un acarreador. La temperatura inicial del horno cromatógrafo fue de 140 °C por 5 minutos, aumentando 4 °C cada minuto hasta alcanzar los 240 °C. El detector e inyector del cromatógrafo se mantuvieron a 260 °C. Cada pico de AG en la leche fue identificado de acuerdo con los tiempos de retención de los estándares de ésteres metílicos (SUPELCO 37, FAME MIX analytical; *trans*11-octadecenoic methyl ester; linoleic acid conjugated methyl ester SIGMA USA).

Análisis estadístico

Los datos de las variables de respuesta: peso vivo, consumo de MS, producción de leche, composición química y perfil de ácidos grasos de la leche fueron analizados mediante el procedimiento GLM de SAS (1999) y los resultados se sometieron a la prueba t Student con un nivel de significancia $P < 0.05$ para determinar la diferencia entre medias de los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las dietas experimentales fueron isoproteicas y con similar aporte de energía neta para lactancia (Tabla 1). Las diferencias observadas en el contenido de fibra detergente neutro están asociadas a la cantidad y naturaleza de la fuente principal de forraje en las raciones completamente mezcladas, siendo mayor ($P < 0.05$) el aporte de este componente en la dieta con EM. Los ácidos linolénico (C18:3 *c9c12c15*) y henéico (C21:0) fueron mayores ($P < 0.05$) en la dieta 25EC (59.5% y 99.7%); sin embargo, CTROL aportó 19.7% más ácido linoleico que 25EC (Tabla 1). Ambas dietas mostraron similar contenido de C16:0 y C18:0 como principales AGS ($P > 0.05$), y de C18:1 *c9* como ácido graso monoinsaturado (AGMI) en la dieta.

No hubo diferencia ($P > 0.05$) en el peso vivo corporal y consumo de materia seca entre tratamientos (Tabla 2).

Producción de leche

Las cabras que consumieron EC produjeron 0.087 kg más de leche ($P < 0.01$) que las cabras que no comieron EC, lo cual representa 33.46% más rendimiento de leche (Tabla 2). Estudios previos que incluyeron forraje fresco de canola en la dieta de bovinos lecheros mejoraron el desempeño productivo (Williams *et al.*, 2016; Keim *et al.*, 2020). Sin embargo, son escasos los trabajos que han evaluado el efecto del forraje de canola sobre la producción y calidad de la leche en cabras. Williams *et al.* (2016) sustituyeron 8.5 kg alfalfa (BS) con forraje fresco de canola en la dieta de vacas lecheras y observaron un incremento de 15% la producción de leche; sin embargo, en otro estudio no hubo efecto sobre la producción de leche al incluir 9 y 15% de ensilado de canola y chícharo en la dieta de vacas (Kincaid *et al.*, 2012). Por otro lado, la inclusión de ensilado de girasol en la dieta de cabras, como alternativa para sustituir el ensilado de maíz, ha mostrado disminución de la producción de leche cuando se usaron niveles crecientes en dieta para cabras (34, 66 y 100% de ensilado de girasol) (Yildiz y Erdogan, 2018).

Tabla 1. Composición química (g kg⁻¹ MS) y perfil de ácidos grasos (g 100 g⁻¹ AG) de las dietas experimentales.

Componente	Dietas [‡]		¹ EEM	P<
	CTROL	25EC		
Materia seca	379.66	365.54	4.6864	0.0589
Cenizas	49.42	55.31	2.0953	0.1176
Proteína cruda	119.52	120.50	1.6789	0.6309
Extracto etéreo	20.67	19.51	0.3423	0.0736
Fibra detergente neutro	482.57	401.07	4.7659	0.0003
Fibra detergente ácido	176.87	172.83	0.8313	0.0265
Energía bruta (Cal kg ⁻¹ MS)	4142.71	4068.05	9.0878	0.0004
EN _L (Mcal kg ⁻¹ MS) [♦]	1.76	1.77	0.0023	0.0161
Ácidos grasos				
Láurico (C12:0)	0.111	0.302	0.0321	0.0015
Tridecanoico (C13:0)	0.041	0.044	0.0117	0.8673
Mirístico (C14:0)	0.090	1.30	0.1035	0.0001
Palmítico (C16:0)	21.13	21.58	0.4095	0.4825
Palmitoleico (C16:1)	0.020	0.027	0.0091	0.5830
Esteárico (C18:0)	3.14	3.00	0.1802	0.6209
Oleico (C18:1 <i>c</i> 9)	25.85	24.35	0.5084	0.0702
Linoleico (C18:2 <i>c</i> 9 <i>c</i> 12)	44.29	35.56	0.4312	0.0001
Linolénico (C18:3 <i>c</i> 9 <i>c</i> 12 <i>c</i> 15)	3.86	9.54	0.3502	0.0001
Henéico (C21:0)	0.011	3.77	0.2327	0.0001
Otros	0.987	0.956	0.1243	0.8735

¹EEM=Error estándar de la media.

[♦]Energía neta de lactancia determinada como: EN_L: (9.07-0.0097*FDA g kg⁻¹)/4.184 (Menke y Steingass, 1988).

[‡] Tratamientos. Dieta control (CTROL), en base seca, compuesta de 50% ensilado de maíz y 50% de concentrado. Dieta experimental (25EC), compuesta de 25% ensilado de canola, 25% ensilado de maíz y 50% de concentrado.

Tabla 2. Consumo de materia seca (kg d⁻¹), producción de leche (kg d⁻¹) y composición química (%) de la leche de cabras alimentadas con (25EC) y sin ensilado de canola (CTROL).

Variable	Dietas [‡]		¹ EEM	P<
	CTROL	25EC		
Peso vivo corporal (kg)	54.55	51.43	2.6332	0.0543
Consumo de materia seca	1.32	1.34	0.0602	0.6723
Producción de leche	0.260	0.347	0.0337	0.0117
FCM [†]	0.226	0.286	0.0204	0.0046
Grasa	4.23	4.52	0.2027	0.1563
Proteína	3.06	2.95	0.0668	0.1669
Lactosa	4.51	4.43	0.0575	0.1117

¹ EEM= Error estándar de la media.

[†]Producción de leche corregida por la grasa: FCM=PL (g d⁻¹)*(0.6340 + 0.1046* %grasa) (Pulina *et al.*, 1991).

[‡] Tratamientos. Dieta control (CTROL), en base seca, compuesta de 50% ensilado de maíz y 50% de concentrado. Dieta experimental (25EC), compuesta de 25% ensilado de canola, 25% ensilado de maíz y 50% de concentrado.

Composición química de la leche

No hubo diferencias ($P>0.05$) en el contenido de proteína, lactosa y grasa en la leche de las cabras con la adición de EC en la dieta (Tabla 2). Efectos similares se han observado en vacas alimentadas con forraje fresco o ensilado de canola (Kincaid *et al.*, 2012; Williams *et al.*, 2016). Así mismo, Castillo-Umaña *et al.* (2020), al incluir 250 g kg⁻¹ MS de forraje fresco de canola, en sustitución de ensilado de pasto, no observaron cambios en la composición química de la leche de vacas.

La composición nutricional de la dieta es el principal factor que altera el contenido de grasa en la leche (Ferlay *et al.*, 2017), sin embargo, este efecto no fue observado en el presente estudio, probablemente debido a que las cabras estaban en la etapa final de lactancia. Generalmente, el contenido de grasa en leche de las cabras es mayor poco después del parto y hasta el pico de lactancia, pero después decrece lo cual está altamente correlacionado con el efecto de dilución de la grasa en leche y con la disminución en la movilización de reservas corporales de grasa (Chilliard *et al.*, 2003).

Contenido de ácidos grasos

El consumo de AG, mostró diferencias ($P<0.05$) entre las cabras asignadas a cada tratamiento (Tabla 3); de modo que las cabras que comieron EC en la dieta mostraron menor consumo de AG que las cabras del tratamiento control. Sin embargo, las cabras que comieron la dieta 25EC tuvieron 56% más consumo de ácido C18:3 *c9c12c15*, en tanto que, las cabras que comieron la dieta CTROL mostraron mayor ($P<0.05$) consumo de los ácidos C16:0, C18:1 *c9*, C18:2 *c9c12* y C21:0.

Tabla 3. Consumo de ácidos grasos (g d⁻¹) de cabras alimentadas con (25EC) y sin ensilado de canola (CTROL) en raciones completamente mezcladas.

Ácidos grasos	Dietas [‡]		¹ EEM	<i>P</i> <
	CTROL	25EC		
Láurico (C14:0)	0.014	0.182	0.0060	0.0001
Palmítico (C16:0)	3.275	2.880	0.1386	0.0054
Estearico (C18:0)	0.477	0.407	0.0199	0.0007
Oleico (C18:1 <i>c9</i>)	3.924	3.349	0.1637	0.0007
Linoleico (C18:2 <i>c9c12c15</i>)	6.723	4.939	0.2635	0.0001
Linolénico (C18:3 <i>c9c12c15</i>)	0.587	1.353	0.0482	0.0001
Otros	0.178	0.745	0.0252	0.0001
Consumo total de AG [♦]	15.177	13.855	0.6538	0.0459

¹ EEM= Error estándar de la media.

[♦] Calculado de acuerdo con Allen (2000)

[‡] Tratamientos. Dieta control (CTROL), en base seca, compuesta de 50% ensilado de maíz y 50% de concentrado. Dieta experimental (25EC), compuesta de 25% ensilado de canola, 25% ensilado de maíz y 50% de concentrado.

La leche de cabra muestra alto contenido de ácidos grasos insaturados, con efectos benéficos en la salud humana, reduciendo el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Lordan *et al.*, 2018). El perfil de AG

en la leche de las cabras utilizadas en el presente estudio se muestra en la Tabla 4. La adición de EC en la dieta no tuvo efecto ($P>0.05$) sobre el contenido de AG de cadena media y larga en la leche (C12:0, C14:0, C16:0, C18:0, C18:1 *c9* y C18:2 *c9c12*). Sin embargo, sí hubo efecto ($P<0.05$) de los tratamientos en los contenidos de ácidos VAC y AR en leche; las cabras que comieron EC mostraron 60 y 57% más de estos ácidos en la leche que las cabras del grupo CTROL. Los mayores contenidos de los ácidos VAC y AR en leche de las cabras asignadas al tratamiento 25EC están relacionados con el mayor aporte en la dieta y mayor consumo de ácido C18:3 *c9c12c15* (Tablas 1 y 3). Ambos ácidos grasos, C18:3 *c9c12c15* y C18:2 *c9c12*, son indispensable para la síntesis del ácido VAC en rumen, y su posterior absorción intestinal promueven la síntesis *de novo* de AR (C18:2 *c9t11*) en la glándula mamaria, dado que la enzima $\Delta 9$ -desaturasa introduce un doble enlace *cis* entre los carbonos 9 y 10 para dar origen al AR (Griinari y Bauman, 2009); esta ruta metabólica representa más de 75% del total del AR presente en la grasa de la leche (Buccioni *et al.*, 2012). AR es el mayor isómero del ALC (>90%), y es el isómero al que se le han atribuido efectos benéficos en la salud humana (Parodi, 1999; Salter, 2013).

En la Tabla 5 se muestran los promedios del contenido total de ácidos grasos, según grado de saturación, índices de aterogenicidad y desaturasa, en cabras alimentadas con y sin ensilado de canola. La inclusión de EC en la dieta no tuvo efecto ($P>0.05$) sobre el grado de saturación de los AG, ni en el índice de aterogenicidad. Estos resultados difieren de los reportados por Williams *et al.* (2016), donde el contenido de AGPI en la leche aumentó al incluir forraje fresco de canola (8.5 kg MS d⁻¹) en la dieta de vacas durante el periodo medio de la lactancia, aunque sin efecto en el contenido de AGS y AGMI. De acuerdo con Park *et al.* (2007), el rango de AGPI en la grasa de la leche de cabra varía de 3 a 5%, sin embargo, en el presente estudio, los valores fueron inferiores (<1.85%). Por otra parte, el índice de actividad de la enzima $\Delta 9$ -desaturasa en la leche de las cabras mostró diferencias ($P<0.05$) entre tratamientos; las cabras alimentadas con EC mostraron mayor índice de actividad de desaturasa de los ácidos C14:0 y C16:0 respecto a la dieta CTROL. Sin embargo, no se observó efecto en el índice desaturasa del ácido C18:0 ($P>0.05$). De este modo, aproximadamente 40% de ácido esteárico es desaturado y aporta más de 50% del ácido oleico presente en leche (Chilliard *et al.*, 2001). La enzima $\Delta 9$ -desaturasa tiene potente actividad sobre los ácidos grasos de 18 carbonos y en menor grado sobre los ácidos grasos de cadena corta.

Tabla 4. Perfil de ácidos grasos (g 100g⁻¹ AG) de la leche de cabras alimentadas con (25EC) y sin ensilado de canola (CTROL) en raciones completamente mezcladas.

Ácido graso	Dietas [‡]		¹ EEM	P<
	CTROL	25EC		
Butírico (C4:0)	1.86	2.21	0.1678	0.0415
Caproico (C6:0)	2.76	2.86	0.1541	0.5169
Caprílico (C8:0)	2.75	2.90	0.1820	0.3980
Cáprico (C10:0)	9.17	10.31	0.4832	0.2153
Undecanoico (C11:0)	0.14	0.22	0.6162	0.0014
Láurico (C12:0)	4.84	5.04	0.4066	0.6280
Tridecanoico (C13:0)	0.04	0.08	0.0217	0.0025
Mirístico (C14:0)	11.63	11.94	0.4650	0.4992
Miristoleico (C14:1)	0.03	0.05	0.0090	0.0028
Pentadecanoico (C15:0)	0.40	0.61	0.0581	0.0006
Pentadecenoico (C15:1)	0.04	0.09	0.0183	0.0080
Palmítico (C16:0)	32.94	31.69	1.2564	0.3260
Palmitoleico (C16:1)	0.39	0.62	0.0533	0.0001
Heptadecanoico (C17:0)	0.29	0.47	0.0489	0.0006
Heptadecenoico (C17:1)	0.03	0.13	0.0315	0.0030
Esteárico (C18:0)	7.46	7.06	0.6594	0.5432
Oleico (C18:1 <i>c</i> 9)	22.01	21.00	0.6897	0.1505
Vaccénico (C18:1 <i>t</i> 11; VAC)	0.06	0.15	0.0198	0.0001
Linoleico (C18:2 <i>c</i> 9 <i>c</i> 12)	1.73	1.61	0.1229	0.3276
Ruménico (C18:2 <i>c</i> 9 <i>t</i> 11; AR)	0.09	0.21	0.0279	0.0001
Otros	0.30	0.21	0.0575	0.1220

¹ EEM= Error estándar de la media. AR=Acido ruménico; VAC= Acido vaccénico.

[‡] Tratamientos. Dieta control (CTROL), en base seca, compuesta de 50% ensilado de maíz y 50% de concentrado. Dieta experimental (25EC), compuesta de 25% ensilado de canola, 25% ensilado de maíz y 50% de concentrado.

Tabla 5. Total de ácidos grasos según grado de saturación (g 100g⁻¹ AG), índices de aterogenicidad y actividad de la enzima desaturasa en leche de cabras alimentadas con (25EC) y sin ensilado de canola (CTROL).

Categoría [§]	Dietas [♦]		¹ EEM	P<
	CTROL	25EC		
AGS	75.52	76.04	0.8035	0.5145
AGI	24.48	23.95	0.8035	0.5145
AGMI	22.64	22.11	0.7183	0.4696
AGPI	1.84	1.83	0.1377	0.9696
Índice de Aterogenicidad [†]	3.53	3.58	0.2061	0.7904
Δ9-desaturasa [‡]				
C14:1/C14:0	0.0027	0.0049	0.0008	0.0053
C16:1/C16:0	0.0124	0.0194	0.0018	0.0003
C18:1/C18:0	0.7478	0.7567	0.0160	0.5807

¹EEM=Error Estándar de la Media.

[§] Categoría según grado de saturación: total de ácidos grasos saturados (AGS), insaturados (AGI), monoinsaturados (AGMI), poliinsaturados (AGPI)

[†]Calculado acorde a Ulbricht y Southgate (1991): (C12:0 + 4 * C14:0 + C16:0) / (total AGI).

[‡] Actividad desaturasa, calculada para cada par de ácidos grasos acorde a Kelsey *et al.* (2003): producto Δ9-desaturasa / (producto Δ9-desaturasa + sustrato Δ9-desaturasa). Por ejemplo, C14:0 = C14:1 / (C14:1 + C14:0).

[♦]Tratamientos. Dieta control (CTROL), en base seca, compuesta de 50% ensilado de maíz y 50% de concentrado. Dieta experimental (25EC), compuesta de 25% ensilado de canola, 25% ensilado de maíz y 50% de concentrado.

CONCLUSIONES

La sustitución parcial de ensilado de maíz por ensilado de canola en raciones completamente mezcladas incrementa la producción de leche, sin modificar el contenido nutrimental y el total de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y polinsaturados en la leche de cabras Alpinas. Estos resultados sugieren que el EC es una opción viable como forraje alternativo para reemplazar parcialmente el EM, lo cual puede incrementar la producción de leche de cabras al final de la lactancia. Sin embargo, se requieren más estudios para evaluar la lactancia completa en rebaños caprinos lecheros.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma del Estado de México por el financiamiento otorgado para la realización de la investigación.

Funding. This research was funded by the Autonomous University of the State of Mexico through the project “4760/2019/CIB”. Luis A. Mejía Uribe PhD scholarship was funded by National Council for Science and Technology (CONACyT) from Mexico.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest regarding this manuscript.

Compliance with ethical standards. This investigation presents original data generated by the authors, which was conducted in accordance with the procedures established by the Autonomous University of the State of Mexico. Also, procedures for animal care and handling were according to Mexican regulation (NOM-062-ZOO-1999 and NOM-051-ZOO-1995)

Data availability. Data are available with E. Morales Almaráz emoralesa@uaemex.mx, upon reasonable request.

Author contribution statement (CRediT). L. A. Mejía-Urbe, investigation, data curation, formal analysis, writing-original draft. I. A. Domínguez-Vara, methodology, supervision, writing-review & editing. F. Hernández-Ruipérez, writing-review & editing. E. Morales-Almaráz, conceptualization, methodology, supervision, validation, project administration, writing-review & editing.

REFERENCIAS

Allen, M. S., 2000. Effects of diet short term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 83, pp. 1598-1624.

DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(00\)75030-2](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(00)75030-2)

AOAC., 2012. *Official Methods of Analysis*, 19th ed. Association Official Analytical Chemists. Arlington, VA, USA. AOAC International

Buccioni, A., Decandia, M., Minieri, S., Molle, G. and Cabiddu, A., 2012. Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation with an emphasis on the role endogenous plant factors. *Animal Feed Science and Technology*, 174, pp. 1-25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2012.02.009>

Castillo-Umaña, M., Balochi, O. A., Pulido, R. G., Sepulveda-Varas, P., Pacheco, D., Muetzel, S., Berthiaume, R. and Keim, J. P., 2020. Milk production responses and rumen fermentation of dairy cows supplemented with summer brassicas. *Animal*, 14(8), pp. 1684-1692. DOI: <https://doi.org/10.1017/S175173112000021X>

Chilliard, Y., Ferlay, A. and Doreau, M., 2001. Effect of different types of forages animal fat marine oils in cows diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. *Livestock Production Science*, 70, pp. 31-48. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00196-8](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00196-8)

Chilliard, Y., Ferlay, A., Rouel, J. and Lamberet, G., 2003. A review nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. *Journal of Dairy Science*, 86, pp. 1751-1770. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(03\)73761-8](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(03)73761-8)

Christie, W. W., 1982. A simple procedure for rapid transmethylation of glycerolipids and cholesterol esters. *Journal Lipid Research*, 23, pp. 1072-1075. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-2275\(20\)38081-0](https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)38081-0)

Chouinard, P. Y., Louise, C., Barbano, D. M., Metzger, L. E. and Bauman, D. E., 1999. Conjugated linoleic acids alter milk fatty acid composition and inhibit milk fat secretion in dairy cows. *Journal of Nutrition*, 129, pp. 1579-1584. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/129.8.1579>

Ferlay, A., Bernard, L., Meynadier, A. and Malpuech-Brugere, C., 2017. Production trans and conjugated fatty acids in dairy ruminants and their putative effects on human health: A review. *Biochimie*, 141, pp. 107-120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2017.08.006>

Ferraretto, L. F., Shaver, R. D. and Luck, B. D., 2017. Silage review: recent advance and future

- technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *Journal of Dairy Science*, 101(5), pp. 3937-3951. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13728>
- Feng, S., Lock, A. L. and Garnsworthy, P. C., 2004. Technical note: A rapid lipid separation method for determining fatty acid composition of milk. *Journal of Dairy Science*, 87, pp. 3785-3788. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(04\)73517-1](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(04)73517-1)
- Griinari, J. M. and Bauman, D. E., 1999. Biosynthesis of conjugated linoleic acid and its incorporation into meat and milk in ruminants. In: M. P. Yurawecs, M. M. Mossoba, J. K. G. Kramer, M. W. Priza and G. J. Nelson, eds. *Advances in Conjugated Linoleic Acid Research*. Champaign IL: AOCS Press. 1, pp. 180-200.
- INEGI., 2018. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aspectos Geográficos: Estado de México. Disponible en: www.inegi.org.mx. Consultado 09 marzo 2021.
- Kaur, R., Garcia, S. C., Fulkerson, W. J. and Barchia, I. M., 2009. Degradation kinetics of leaves petioles and stems of forage rape (*Brassica napus*) as affected by maturity. *Animal Feed Science and Technology*, 168, pp. 165-178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.093>.
- Keim, J. P., Daza, J., Beltran, I., Balochi, O. A., Pulido, R. G., Sepulveda-Varas, P., Pacheco, D. and Berthiaume, R., 2020. Milk production responses, rumen fermentation, and blood metabolites of dairy cows fed increasing concentration of forage rape. *Journal of Dairy Science*, 103(10), pp. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18785>
- Kelsey, J. A., Corl, B. A., Collier, R. J. and Bauman, D. E., 2003. The effect of breed, party, and stage of lactation of conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat from dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86, pp. 2588-2597. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73854-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73854-5).
- Khrosravi, M., Rouzbehan, Y., Rezaei, M. and Rezaei, J., 2018. Total replacement of corn silage with sorghum silage improves milk fatty acid profile and antioxidant capacity of Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 101(12), pp. 10953-10961. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14350>
- Kincaid, R. L., Johnson, K. A., Michal, J. J., Huisman, A. C., Hulbert, S. H. and Pan, W. L., 2012. Case study: production of silage containing biennial canola and peas for use as forage in a dairy ration. *The Professional Animal Scientist*, 28, pp. 120-124. DOI: [https://doi.org/10.15232/s1080-7446\(15\)30323-5](https://doi.org/10.15232/s1080-7446(15)30323-5)
- Limón-Hernández, H. D., Rayas, A. A. A., Garcia, M. A., Estrada, F. J. G., Nuñez, L. M., Cruz, M. R. G. and Morales, A. E., 2019. Chemical composition, in vitro gas production, methane production and fatty acids profile of canola silage (*Brassica napus*) with four levels of molasses. *Tropical Animal Health and Production*, 51, pp. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01849-7>
- Lordan, R., Tsoupras, A., Mitra, B. and Zabetakis, I., 2018. Dairy fats and cardiovascular disease: Do we really need to be concerned? *Foods*, 7, pp. 29. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods7030029>
- Menke, K. H. and Steingass, H., 1988. Estimation of the energetic feed value from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development*, 28, pp. 7-55.
- Migliorati, L., Boselli, L., Pirlo, G., Moschini, M. and Masoero, F., 2017. Corn silage replacement with barley silage in dairy cows' diet does not change milk quality, cheese quality and yield. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(10), pp. 3396-3401. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8190>
- NOM-062-ZOO-1999. Norma Oficial Mexicana. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio.
- NOM-051-ZOO-1995. Norma Oficial Mexicana. Trato humanitario en la movilización de animales.
- NRC., 2007. National Research Council. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids and new world camelids. Washington, D.C. USA. The National Academic of Science.
- Palmquist, D. L. and Jenkins, T. C., 2003. Challenges with fats and fatty acid methods. *Journal of Animal Science*, 81, pp. 3250-3254. DOI: <https://doi.org/10.2527/2003.81123250x>
- Park, Y. W., Juárez, M., Ramos, M. and Haenlein, G. F. W., 2007. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68, pp. 88-113. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.09.013>
- Parodi, P.W., 1999. Conjugated linoleic acid and other anticarcinogenic agents of bovine milk fat. *Journal of Dairy Science*, 82(6), pp. 1339-

1349. DOI: [https://doi:10.3168/jds.s0022-0302\(99\)75358-0](https://doi:10.3168/jds.s0022-0302(99)75358-0)
- Pulina, G., Cannas, A., Serra, A. and Vellebella, R., 1991. Determination and estimation of energy value in Sardinian goat milk. In: Proc. 45th Congress Societa Italiana Scienze Veterinarie. Altavilla Milicia, Palermo, Italy. pp. 1779-1781.
- Reta, S. D. G., Serrato, C. J. S., Quiroga, G. H. M., Gaytán, M. A. and Figueroa, V. U., 2015. Forage yield and chemical composition of canola (*Brassica napus L.*) as affected by sowing methods. *Grass and Forage Science*, 71(2), pp. 281-290. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12174>
- Salter, A. M., 2013. Dietary fatty acid and cardiovascular diseases. *Animal*, 7, pp. 163-171. DOI: <https://doi:10.1017/S1751731111002023>
- SAS., 1999. Statistical analysis system. Cary, North Caroline, USA. SAS Inst Inc.
- Shingfield, K. J., Chilliard, Y., Toivonen, V., Kairenius, P. and Gives, D. I., 2008. Trans fatty acids and bioactive lipids in ruminant milk. In Bioactive Components of milk. *Advance in Experimental Medicine and Biology*, 606, pp. 3-65. DOI: https://doi:10.1007/978-0-387-74087-4_1
- Sukhija, P. S. and Palmquist, D. L., 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *Journal Agriculture and Food Chemistry*, 36, pp. 1202-1206. DOI: <https://doi:10.1021/jf00084a019>
- Ulbricht, T. L. V. and Southgate, D. A. T., 1991. Coronary heart disease: seven dietary factors. *The Lancet*, 338, pp. 985-992. DOI: [https://doi:10.1016/0140-6736\(91\)91846-m](https://doi:10.1016/0140-6736(91)91846-m)
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B. and Lewis, B. A., 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, pp. 3583-3597. DOI: [https://doi:10.3168/jds.s0022-0302\(91\)78551-2](https://doi:10.3168/jds.s0022-0302(91)78551-2)
- Williams, O. S. R., Moate, J. P., Deigton, H. M., Hannah, C. M., Wales, J. M. and Jacobs, L. J., 2016. Milk production and composition, and methane emissions from dairy cows fed Lucerne hay with forage brassica or chicory. *Animal Production Science*, 56, pp. 304-311. DOI: <https://doi:10.1071/an15528>
- Yildiz, S. and Erdogan, S., 2018. Using of sunflower silage instead of corn silage in the diet goat. *Indian Journal of Animal Research*, 52(10), pp. 1446-1451. DOI: <https://doi:10.18805/ijar.B867>