

Perfil de ácidos grasos de arbustos forrajeros en el norte de México

Jonathan Raúl Garay Martínez¹

Jorge Alonso Maldonado Jáquez²

Yuridia Bautista Martínez³

Francisco Antonio Cigarroa Vázquez⁴

Sandra Patricia Maciel Torres⁵

Lorenzo Danilo Granados Rivera^{6,§}

1 Campo Experimental Huasteca-INIFAP. Altamira, Tamaulipas, México. (garay.jonathan@inifap.gob.mx).

2 Campo Experimental La Laguna-INIFAP. Matamoros, Coahuila, México. (maldonado.jorge@inifap.gob.mx).

3 Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia 'Norberto Treviño Zapata'-Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. (ybautista@docentes.uat.edu.mx).

4 Escuela de Estudios Agropecuarios Mezcalapa-Universidad Autónoma de Chiapas. Copainalá, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. (civafa@gmail.com).

5 Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas-Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Durango, México. (maciel-sandy@hotmail.com).

6 Campo Experimental General Terán-INIFAP. General Terán, Nuevo León, México.

Autor para correspondencia: granados.danilo@inifap.gob.mx

Resumen

El ácido linoleico conjugado es considerado un alimento funcional ya que su consumo mejora la salud de las personas. Este compuesto se encuentra en leche de animales rumiantes y es sintetizado en el rumen y glándula mamaria utilizando como sustratos a los ácidos linoleico y α -linolenico, los cuales se encuentran en forma amplia en plantas forrajeras. Sin embargo, existe poca información respecto al contenido de ácidos grasos en forrajes, en particular, de especies nativas. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue evaluar la composición química y perfil de ácidos grasos de arbustos forrajeros nativos que son consumidos por cabras bajo pastoreo extensivo en el norte de México, en 2019. Para ello, se realizó una colecta de arbustos forrajeros consumidos por cabras. A los forrajes seleccionados se le determinó: materia seca, materia orgánica, proteína cruda, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, lípidos totales y perfil de ácidos grasos. Los arbustos forrajeros consumidos por las cabras en el agostadero fueron: huizache (*Vachellia farnesiana* (L.) Wild.), mezquite (*Prosopis laevigata* (Humb & Bonpl) Wild), gobernadora (*Larrea tridentata* (Moç. & Seseé DC) y chaparro prieto (*Vachellia constricta* (Bentham Siegler & Ebinger Waif). De estos, mezquite (PC 148 g kg⁻¹ de MS) y chaparro prieto (PC 147 g kg⁻¹ de MS) tuvieron los mejores contenidos de proteína cruda, asimismo, mezquite tuvo una alta concentración en los ácidos grasos linoleico (14.21 g 100 g⁻¹ ácidos grasos totales) y α -linolenico (36.22 g 100 g⁻¹ ácidos grasos totales), por lo que estos arbustos forrajeros pueden ser considerados en dieta de las cabras que tengan el objetivo de incrementar la concentración de ácido linoleico conjugado en leche o carne de cabras en pastoreo.

Palabras clave:

ácido linoleico conjugado, alimento funcional, nutrición de rumiantes.

Introducción

La población humana demanda alimentos de origen animal para su alimentación y en los últimos años, una parte de esta se ha preocupado por adquirir alimentos que contribuyan a mejorar su salud y prevenir enfermedades (Verma y Srivastav, 2020). Por lo tanto, se han incrementado los estándares de calidad nutricional e inocuidad de los productos alimenticios en los mercados internacionales (Godfray *et al.*, 2010).

En la producción ganadera, para apoyar la tendencia mencionada, ha surgido el interés de modificar el perfil lipídico de los productos que se generan. En particular, en la leche se busca incrementar la concentración de ácido linoleico conjugado (ALC) (Siurana y Calsamiglia, 2016; Kim *et al.*, 2016), debido a que dos de sus isómeros han sido de interés por sus potenciales efectos sobre la salud humana como: reducción de la grasa corporal, propiedades antiaterogénicas, hipolipemiantes, antidiabéticas e inmunomoduladoras, entre otras (Haro *et al.*, 2006; Gómez-Cortés *et al.*, 2019). Estos isómeros son el *cis*-9, *trans*-11 y el *trans*-10, *cis*-12, que en conjunto representan alrededor de 95% del ALC total en leche de rumiantes, siendo el *cis*-9, *trans*-11 el que se presenta en mayor proporción (90%) (Griinari *et al.*, 2000).

La leche de rumiantes es el alimento en la naturaleza con cantidad mayor de ALC (Ritzenthaler *et al.*, 2001), sintetizándose a través de la biohidrogenación incompleta de los ácidos grasos (AG) linoleico (C18:2 *n*-6) y α -linolénico (C18:3 *n*-3) en el rumen. No obstante, por esta vía solo se sintetiza alrededor de 10% del ALC en leche, el restante 90% se sintetiza de manera endógena en la glándula mamaria por acción de la enzima Δ 9-desaturasa, que sintetiza ALC a partir de ácido vaccénico (AV) (Mosley *et al.*, 2006), quien es otro intermediario de la biohidrogenación ruminal (Kim *et al.*, 2008).

Por otra parte, la alimentación es el factor que más influye en la concentración de ALC en leche de rumiantes (Siurana y Calsamiglia, 2016) y el pastoreo es la estrategia nutricional más eficaz y económica para incrementar el contenido de ALC (Lahlou *et al.*, 2014). Esto se debe, a que los forrajes frescos tienen una concentración alta de ácido linoleico (C18:2 *n*-6) y α -linolénico (C18:3 *n*-3) (Boufaïed *et al.*, 2003), precursores de ALC y ácido vaccénico (AV) en rumen. Lo cual causa una tasa mayor de escape de ALC y AV hacia la glándula mamaria y en consecuencia existe disponibilidad mayor de sustrato para que actúe la enzima Δ 9-desaturasa (Lahlou *et al.*, 2014), que es la responsable de sintetizar alrededor de 90% de ALC total en leche de rumiantes (Mosley *et al.*, 2006).

Los lípidos en los forrajes presentan un rango entre 30 a 100 g kg⁻¹ de MS, los cuales se encuentran en su mayoría en los cloroplastos (León *et al.*, 2011). El contenido de lípidos en los cloroplastos varía de 22 a 25% de la MS. De esta fracción lipídica, cinco ácidos grasos (AG) en forma principal se encuentran en la mayoría de los pastos y en forma aproximada 95% se componen del ácido linoleico (C18:2 *n*-6), ácido linolénico (C18:3 *n*-3) y ácido palmítico (C16:0). Los forrajes frescos contienen una alta proporción (50-75%) de ácidos grasos en forma de C18:3 *n*-3 y dicho contenido varía con factores ambientales tales como: estado de madurez, estacionalidad e intensidad de luz (Elgersma *et al.*, 2004).

No obstante, la información sobre el perfil de AG en los forrajes es limitada, en particular, en los arbustos forrajeros nativos del norte de México. Por ello, es necesario generar dicha información para desarrollar esquemas de manejo sostenibles, ya que estos arbustos se utilizan en forma amplia en sistemas de producción a pequeña escala de caprinos. Además, el conocimiento del



valor lipídico de estas arbustivas podría coadyuvar a desarrollar esquemas de producción de alimentos de alto valor nutricional (Núñez-Domínguez *et al.*, 2016), en un sector de la población de alta marginación, agregando valor a sus productos (carne o leche), lo cual brindaría la oportunidad de mejorar sus ingresos (Granados-Rivera *et al.*, 2020) y asegurar un sistema de vida sostenible para estas comunidades (Bernahu y Beyene, 2015).

Con base en estos antecedentes, el objetivo del estudio fue evaluar la composición química y perfil de ácidos grasos de arbustos forrajeros nativos que son consumidos por cabras bajo pastoreo extensivo en el norte de México.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en 2019 en la región de La Comarca Lagunera, ubicada entre las coordenadas 24° 22' y 26° 23' latitud norte y 102° 22' y 104° 47' longitud oeste, a 1 100 msnm. El clima corresponde a BWhw, que se caracteriza por ser desértico, semicálido con invierno fresco y precipitación media anual de 240 mm, la temperatura media anual a la sombra es de 25 °C, con rangos de -1 °C en invierno a 44 °C en verano (García, 2004).

Para la colección de las muestras de los arbustos se siguió la metodología propuesta por Toyas-Vargas *et al.* (2013), la cual consistió en realizar un recorrido con al menos dos grupos de personas que van detrás de las cabras anotando y colectando las muestras de especies vegetales que consumen. Cuando la mayoría de las cabras eligen una especie vegetal para consumirla (N > 75%), se toma en forma manual seis muestras de aproximadamente 300 g de la parte consumida por la cabra y aproximadamente a la altura donde consumían estas.

Las muestras de forraje se colocaron en bolsas de papel para después trasladarlas al laboratorio de análisis químico proximal. Las plantas elegidas por los animales fueron plantas adultas, con follaje verde, en estado de madurez fisiológica. Las muestras colectadas se pesaron en fresco y posteriormente se secaron en un horno de aire forzado a una temperatura de 50 °C hasta llegar a peso constante (aproximadamente 72 h). Se analizó el contenido de materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), lípidos totales (LT) (AOAC, 2019), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) (Van Soest *et al.*, 1991).

La extracción de AG se realizó según la metodología de Folch *et al.* (1957). En forma posterior, para determinar el perfil de AG se tomaron 50 µl de los lípidos extraídos y se colocaron en tubos de polipropileno, se agregaron 3 ml de metóxido de sodio (0.5 M en metanol para proteger el proceso de isomerización de los AG insaturados) y se agitaron por 1 min con vórtex. Luego, los tubos se colocaron en un vaso de precipitado con agua destilada a 50 °C por 10 min, después se retiraron del vaso y se enfriaron por 5 min. Luego, se agregaron 3 ml de ácido clorhídrico metanólico al 5% para extraer la grasa total y se agitaron 1 min con vórtex.

Los tubos fueron colocados dentro del vaso de precipitado con agua destilada, a 80 °C por 10 min, luego se retiraron y se dejaron enfriar por 10 min, se agregaron 3.5 ml de hexano para disolver y extraer solo la grasa y 5 ml de carbonato de potasio al 6% para saponificar y liberar los AG, los cuales se agitaron 1 min con vórtex y se centrifugaron por 5 min a 2 500 rpm. Después se extrajo la fracción de hexano, ubicada en la parte superior en el tubo y se depositó en tubos de polipropileno, los cuales contenían 0.5 g de sodio para eliminar el exceso de humedad y 0.1 g de carbón activado para eliminar impurezas, se agitaron con vórtex y se centrifugaron a 1 500 rpm durante 5 min.

Luego se extrajo la primera fase de hexano y se filtró a través de un acrodisco (Thermo Scientific, titan 44513-NN, filtro verde de 17 mm y membrana nylon de 0.45 µm, para asegurar una muestra libre de impurezas) y se colocó en un vial donde se almacenó a -5 °C hasta su análisis por cromatografía de gases. Los metil ésteres de AG se determinaron a través de cromatografía de gases, utilizando un cromatógrafo con detector de ionización de flama (FID) marca Hewlett Packard 6890 con inyector automático (Supelco, serie 53308-02), para el cual fue necesario utilizar una columna capilar de sílica fundida (SP-2560, 100 m × 0.25 mm × 0.2 µm film thickness), un estándar FAME Mix C4-C24, num. Cat. 18919-1AMP, marca Supelco.

Como gas acarreador se utilizó helio. Se inyectó 0.1 µl de la muestra de grasa metilada y la rampa de temperaturas usada inició con 140 °C durante 2.95 min, después fue incrementando 1 °C min⁻¹ hasta alcanzar los 210 °C, después subió 0.7 °C min⁻¹ hasta alcanzar los 235 °C. El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico SAS (2002). La información se analizó por medio de Anova bajo un diseño completamente al azar con seis repeticiones, considerando la especie como fuente de variación. La comparación de medias de mínimos cuadrados se realizó a través de la prueba de Tukey ajustada ($\alpha = 0.05$).

Resultados y discusión

Los arbustos forrajeros que fueron seleccionados por las cabras en el agostadero fueron: huizache (*Vachellia farnesiana*), mezquite (*Prosopis laevigata*), gobernadora (*Larrea tridentata*) y chaparro prieto (*Vachellia constricta*) (Cuadro 1). En México, estos arbustos han sido identificados como preferidos por las cabras en agostaderos de Oaxaca (Mandujano *et al.*, 2019), Tamaulipas (Alva-Pérez *et al.*, 2019), Nuevo León (Armenta-Quintana *et al.*, 2011), Coahuila (Maldonado-Jáquez *et al.*, 2017) y Baja California Sur (Toyes-Vargas *et al.*, 2013), por lo que son forrajes importantes en la dieta de las cabras, en particular, durante la época seca (Zapata-Campos y Mellado-Bosque, 2021), momento en que pueden representar más de 80% de la dieta de ganado caprino en pastoreo (Armenta-Quintana *et al.*, 2011).

Cuadro 1. Composición química (g kg⁻¹ de MS) de arbustos forrajeros consumidos por cabras en pastoreo.

Variable	Arbustos forrajeros				p
	Huizache	Mezquite	Gobernadora	Chaparro prieto	
	(g kg ⁻¹ de MS)				
Materia orgánica	947	917	962	927	0.368
Proteína cruda	122 b	148 a	134 ab	147 a	0.026
Lípidos totales	49 b	24 c	67 a	62 a	0.014
Fibra detergente neutro	468 b	427 bc	603 a	412 c	0.011
Fibra detergente ácido	381 b	371 b	519	389 b	0.017

a, b y c= literales diferentes entre columnas indican diferencia estadística (Tukey; $\alpha = 0.05$); huizache (*Vachellia farnesiana* (L.) Wild.); mezquite (*Prosopis laevigata* (Humb & Bonpl) Wild); gobernadora (*Larrea tridentata* (Moç. & Seseé DC.) y chaparro prieto (*Vachellia constricta* (Bentham Siegler & Ebinger Waif).

Asimismo, los agostaderos tienen una alta población de especies arbustivas, representando alrededor de 25% de la vegetación total del agostadero (Estell *et al.*, 2010), por lo que existe una alta disponibilidad para el ganado caprino, no obstante, el consumo de arbustivas está influido por la edad (Hai *et al.*, 2014), sexo (Ferretti *et al.*, 2014; Manousidis *et al.*, 2016) y estado fisiológico (Mellado *et al.*, 2011; Cardozo-Herrán *et al.*, 2019) de la cabra.

Respecto a PC, mezquite, gobernadora y chaparro prieto tuvieron valores similares entre sí y el menor contenido se encontró en Huizache ($p = 0.026$). Dichos valores estuvieron por debajo de otros reportes para las mismas especies en el norte de México (Guerrero *et al.*, 2010; Toyos-Vargas *et al.*, 2013). Al respecto, en mezquite se ha reportado contenido de PC de 200 g kg⁻¹ (Foroughbakhch *et al.*, 2013) y 170 g kg⁻¹ y para huizache valores de 188 g kg⁻¹ (Toyos-Vargas *et al.*, 2013). El contenido de PC de arbustivas forrajeras entre especies varía de acuerdo con la época del año y está estrechamente relacionado con la distribución de la precipitación (Chimphango *et al.*, 2020).

Lo anterior, puede explicar los menores valores de PC encontrados en el presente estudio, ya que el muestreo de los arbustos estudiados se realizó en la época seca, que es cuando la precipitación es mínima o nula en la región (Isidro-Requejo *et al.*, 2019). Además, el contenido

de PC en las especies estudiadas puede variar de 100 a 330 g kg⁻¹ (Quiroz-Cardoso *et al.*, 2015; Carvalho *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2017) lo cual está dentro del rango encontrado en las arbustivas estudiadas y es suficiente para promover un óptimo crecimiento de la microflora ruminal (NRC, 2007).

El contenido LT fue diferente entre especies ($p=0.014$), los valores más altos se observaron en gobernadora y chaparro prieto. Estos valores se encuentran dentro del rango esperado para el contenido de lípidos en plantas forrajeras, que puede ser hasta de 10% de la MS del forraje (Bauchart *et al.*, 1984). Por otra parte, el contenido de LT fue superior a lo reportado por Toyos-Vargas *et al.* (2013), lo cual pudiera estar relacionado con la época de cosecha del forraje, ya que el bajo contenido de agua en las plantas puede provocar una mayor concentración de la fracción sólida en las arbustivas (Suárez-Paternina *et al.*, 2015).

Se encontraron diferencias entre especies para los valores de fibra detergente neutro (FDN) ($p=0.011$) y fibra detergente ácido (FDA) ($p=0.017$). Estos valores son similares a los reportados para las mismas especies vegetales (Maldonado-Jáquez *et al.*, 2017; Zapata-Campos y Mellado-Bosque, 2021). A este respecto, FDN y FDA son valores de referencia que permitieron determinar la calidad nutritiva de un forraje; es decir, permitió conocer si un ingrediente tiene bajo o alto contenido energético y si este es voluminoso o tiene mayor densidad.

Por ejemplo, los forrajes con bajos contenidos en FDN (< 400 g kg⁻¹ de MS) son de mayor calidad nutricional que los que contienen altas concentraciones (> 600 g kg⁻¹ de MS) de este compuesto (Van Soest *et al.*, 1991). Con base en lo anterior, con excepción de gobernadora, las tres especies arbustivas evaluadas tienen características nutrimentales adecuadas para la alimentación de rumiantes. Al respecto, resultados similares fueron reportados para la región semiárida del norte de México, donde indican que especies arbustivas nativas presentan características nutricionales superiores a otros estratos vegetales como árboles y pastos, en particular durante la época seca (Guerrero *et al.*, 2010).

En cuanto a la concentración de ácidos grasos (AG), hubo diferencias en AG saturados ($p<0.001$), AG monoinsaturados ($p<0.001$) y AG poliinsaturados ($p<0.001$) (Cuadro 2). Estos resultados difieren de lo reportado por Toyos-Vargas *et al.* (2013) quienes no encontraron diferencia para la concentración de AG saturados y AG monoinsaturados en cinco especies forrajeras en el norte de México; sin embargo, fue similar en el contenido de AG poliinsaturados.

Cuadro 2. Perfil de ácidos grasos (AG) (g 100 g⁻¹ AG) de arbustos forrajeros seleccionadas por cabras en pastoreo.

Ácido graso	Arbustos forrajeros				p-value
	Huizache	Mezquite	Gobernadora	Chaparro prieto	
C14:0	1.29 ab	0.76 b	2.7 a	0.68 b	0.003
C15:0	0.41	0.32	0.29	0.42	0.429
C16:0	33.16 a	25.4 ab	23.08 b	17.85 c	<0.001
C16:1	2.08 b	2.54 b	1.19 c	3.33 a	<0.001
C17:0	1.16	0.91	0.83	1.21	0.776
C18:0	9.39 ab	10.27 a	8.52 b	8.5 b	0.028
C18:1 n-9	4.31	3.95	3.84	4.19	0.095
C18:2 n-6	16.05 b	14.21 b	22.36 a	24.93 a	0.012
C18:3 n-3	26.25 c	36.22 a	29.27 bc	32.87 ab	<0.001
C18:3 n-5	0.47 b	0.54 b	0.7 ab	0.97 a	<0.001
C20:0	1.4	1.7	1.56	1.68	0.161
C20:1 n-11	0.33	0.53	0.46	0.3	0.824
C20:1 n-9	0.07 c	0.36 b	0.79 a	0.01 c	0.028
C21:0	0.15	0.13	0.16	0.12	0.93
C22:0	1.48 ab	0.97 b	2.3 a	1.72 ab	<0.001

Ácido graso	Arbustos forrajeros				p-value
	Huizache	Mezquite	Gobernadora	Chaparro prieto	
C23:0	0.83 a	0.07 b	0.73 a	0.04 b	0.006
C24:0	1.16	1.09	1.2	1.17	0.361
AGS	51.42 a	41.65 b	42.68 b	34.8 c	<0.001
AGMI	7.02 a	7.39 a	4.99 b	8.63 a	<0.001
AGPI	41.56 b	50.96 a	52.33 a	56.57 a	<0.001

AGS= ácidos grasos saturados; AGMI= ácidos grasos monoinsaturados; AGPI= ácidos grasos poliinsaturados; a, b y c= literales diferentes entre columnas indican diferencia estadística (Tukey; $\alpha=0.05$); huizache (*Vachellia farnesiana* (L.) Wild.); mezquite (*Prosopis laevigata* (Humb & Bonpl) Wild); gobernadora (*Larrea tridentata* (Moç. & Seseé DC.) y chaparro prieto (*Vachellia constricta* (Bentham Sieglér & Ebinger Waif).

El presente estudio confirmó que los tres AG de mayor concentración en especies forrajeras son: C18:3 *n*-3, C18:2 *n*-6 y C16:0, esto fue reportado por otros grupos de investigación (Boufaïed *et al.*, 2003; Elgersma *et al.*, 2004; León *et al.*, 2011; Toyés-Vargas *et al.*, 2013; Prieto-Manrique *et al.*, 2016). Lo anterior, puede explicarse debido a que las células vegetales son las únicas capaces de sintetizar C18:3 *n*-3 y C18:2 *n*-6 a partir de ácido oleico, mediante la acción de las enzimas $\Delta 15$ y $\Delta 2$ desaturasa, respectivamente (Ursin, 2003).

Estos AG están presentes en altas concentraciones en forrajes verdes, donde pueden representar hasta 75% de los lípidos totales (Clapham *et al.*, 2005), ya que forman parte de los digalactosil diglicéridos que están asociados a las membranas tilacoidales en los cloroplastos, por tal razón son los AG que predominan en las plantas terrestres (Sinclair *et al.*, 2002).

Con respecto al AG C16:0, se encontró una concentración superior a la reportada en la literatura para pastos forrajeros como alfalfa, ovillo y ballico (Boufaïed *et al.*, 2003); (Elgersma *et al.*, 2004). Sin embargo, coincide con los resultados de Toyés-Vargas *et al.* (2013), quienes explican que esto, probablemente sea un mecanismo de adaptación de las plantas a las zonas con temperaturas altas, debido a que una reducción de la fluidez de las membranas en la planta ayudaría a disminuir la evapotranspiración, esto pudiera lograrse al incorporar en la membrana vegetal una mayor concentración de un AG saturado como el C16:0.

Respecto a la concentración de los AG C18:3 *n*-3 ($p < 0.001$) y C18:2 *n*-6 ($p = 0.012$) hubo diferencias entre especies. Mezquite y chaparro prieto tuvieron la mayor concentración en conjunto. Esto es importante ya que son precursores de ácido vaccénico. En particular, C18:3 *n*-3 es isomerizado a C18:3 *cis*-9, *trans*-11, *cis*-15, después es hidrogenado a C18:2 *trans*-11, *cis*-15, para ser otra vez hidrogenado a C18:1 *trans*-11, el cual es el ácido vaccénico. En tanto, C18:2 *n*-6 primero se isomeriza a C18:2 *cis*-9 *trans*-11, para después ser hidrogenado a C18:1 *trans*-11 ácido (vaccénico) (Griinari *et al.*, 2000).

La importancia del ácido vaccénico radica en que es precursor del ácido linoleico conjugado (ALC) y este último puede ser sintetizado de forma endógena en los tejidos de rumiantes a partir de ácido vaccénico (C18: 1 *trans*-11), por acción de la enzima $\Delta 9$ -desaturasa (Mosley *et al.*, 2006). Finalmente, el ALC es un AG con alta relevancia en la producción de alimentos de origen animal debido a su potencial efecto anticancerígeno y su reducción de grasa en tejido adiposo y muscular (Yang *et al.*, 2015).

Conclusiones

Los cuatro arbustos evaluados tienen características nutrimentales adecuadas para ser utilizadas en la dieta de cabras en pastoreo. En particular destacan, mezquite (*Prosopis laevigata*), debido a su alto contenido de PC y bajo contenido de FDN, además tuvo la mayor concentración del AG C18:3 *n*-3. Asimismo, chaparro prieto (*Vachellia constricta*), quien tuvo una concentración alta de PC y elevados contenidos de los precursores de ácido vaccénico (C18:3 *n*-3 y C18:2 *n*-6). Estos arbustos forrajeros pueden ser considerados en dietas que tengan el objetivo de incrementar la concentración de ALC en leche o carne de cabras en pastoreo.

Finalmente, es recomendable realizar estudios complementarios con estas y otras especies nativas forrajeras, que evalúen sus cambios nutricionales, así como el perfil de AG a través del año, se consideren las etapas fenológicas y la respuesta a condiciones controladas (manejo agronómico) con la finalidad de obtener información sobre su aprovechamiento sostenible.

Bibliografía

- 1 Alva-Pérez, J.; López-Corona, L. E.; Zapata-Campos, C. C.; Vázquez-Villanueva, J. y Barrios-García, H. B. 2019. Condiciones productivas y zoonositarias de la producción caprina en el altiplano de Tamaulipas, México. *Interciencia*. 44(3):154-160.
- 2 AOAC. 2019. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis of AOAC International. 21st Ed. AOAC International, USA. 700 p.
- 3 Armenta-Quintana, J. A.; Ramírez-Orduña, R.; Ramírez, R. G. and Romero-Vadillo, E. 2011. Organic matter and crude protein ruminal degradation synchrony in diets selected by range goats. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 14(1):109-117. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/678/448>.
- 4 Bauchart, D.; Vérité, R. and Remond, B. 1984. Long-chain fatty acid digestion in lactating cows fed fresh grass from spring to autumn. *Can. J. Anim. Sci.* 64(Suppl.):330-331. <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.4141/cjas84-285>.
- 5 Bernahu, W. and Beyene, F. 2015. Climate variability and household adaptation strategies in Southern Ethiopia. *Sustainability*. 7(6):6365-6375. <https://doi.org/10.3390/su7066353>.
- 6 Boufaïed, H.; Chouinard, P. G.; Tremblay, G. F.; Michaud, R.; Petit, H. V.; Michaud, M. and Bélanger, G. 2003. Fatty acids in forages. I. Factors affecting concentrations. *Can. J. Anim. Sci.* 83(3):501-511. <https://doi.org/10.4141/A02-098>.
- 7 Cardozo-Herrán, M.; Ayala-Burgos, A.; Aguilar-Pérez, C.; Ramírez-Avilés, L.; Ku-Vera, J. and Solorio-Sánchez, F. J. 2019. Productivity of lactating goats under three grazing systems in the tropics of México. *Agroforest. Syst.* 95(1):33-41. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00384-6>.
- 8 Carvalho, W. F. D.; Oliveira, M. E. D.; Alves, A. A.; Moura, R. L. D. and Moura, R. M. A. S. 2017. Energy supplementation in goats under a silvopastoral system of tropical grasses and *Leucaena*. *Rev. Ciênc. Agron.* 48(1):199-207. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170023>.
- 9 Chimphango, B. M. S.; Gallant, H. L.; Poulsen, C. Z.; Poulsen, C. Z.; Samuels, M. I.; Hattas, D.; Curtis, O. E.; Muasya, A. M.; Cupido, C.; Boatwright, J. S. and Howieson, J. 2020. Native legume species as potential fodder crops in the Mediterranean renosterveld shrubland, South Africa. *J. Arid. Environ.* 173:104015. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.104015>.
- 10 Clapham, W. M.; Foster, J. G.; Neel, J. P. S. and Fedders, J. M. 2005. Fatty acid composition of traditional and novel forages. *J. Agric. Food. Chem.* 53(26):10068-10073. <https://doi.org/10.1021/jf0517039>.
- 11 Elgersma, A.; Ellen, G.; Van der Horst, H.; Muuse, B. G.; Boer, H. and Tamminga, S. 2004. Influence of cultivar and cutting date on fatty acids composition of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Grass Forage Sci.* 58(3):323-331. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.2003.00384.x>.
- 12 Estell, R. E.; Utsumi, S. A. and Cibils, A. F. 2010. Measurement of monoterpenes and sesquiterpenes in serum, plasma, and rumen fluid from sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 158(1-2):104-109. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.03.011>.
- 13 Ferretti, F.; Costa, A.; Corazza, M.; Pietrocini, V.; Cesaretti, G. and Lovari, S. 2014. Males are faster foragers than females: intersexual differences of foraging behaviour in the Apennine chamois. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 68(8):1335-1344. <https://doi.org/10.1007/s00265-014-1744-5>.

- 14 Folch, J.; Lees, M. and Sloane Stanley, G. H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226(1):497-509. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5).
- 15 Foroughbakhch, R.; Hernández-Piñero, J. L.; Carrillo-Parra, A. and Rocha-Estrada, A. 2013. Composition and animal preference for plants used for goat feeding in semiarid Northeastern Mexico. *J. Anim. Plant Sci.* 23(4):1034-1040. <http://www.thejaps.org.pk/docs/v-23-4/14.pdf>.
- 16 García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª Ed. Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, DF. 90 p.
- 17 Godfray, H. C. J.; Beddington, J. R.; Crute, I. R.; Haddad, L.; Lawrence, D.; Muir, J. F.; Pretty, J.; Robinson, S.; Thomas, S. M. and Toulmin, C. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 Billion People. *Science.* 327(5967):812-818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>.
- 18 Gómez-Cortes, P.; Ángel de la Fuente, M. y Juárez, M. 2019. Ácidos grasos trans y ácido linoleico conjugado en alimentos: origen y propiedades biológicas. *Nutr. Hosp.* 36(2):479-486. <https://dx.doi.org/10.20960/nh.2466>.
- 19 Granados-Rivera, L. D.; Hernández-Mendo, O. and Maldonado-Jáquez, J. A. 2020. Energy balance in lactating goats: Response to mixture of conjugated linoleic acid. *Anim. Sci. J.* 91(1):1-9. <https://doi.org/10.1111/asj.13347>.
- 20 Griinari, J. M.; Corl, B. A.; Lacy, S. H.; Chouinard, P. Y.; Nurmela, K. V. and Bauman, D. E. 2000. Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by Delta(9)-desaturase. *J. Nutr.* 130(9):2285-2291. <https://doi.org/10.1093/jn/130.9.2285>.
- 21 Guerrero, M.; Juárez, A. S.; Ramírez, R. G.; Montoya, R.; Murillo, M.; La O, O. y Cerrillo, M. A. 2010. Composición química y degradabilidad de la proteína de forrajes nativos la región semiárida del norte de México. *Rev. Cuba. Cienc. Agric.* 44(2):147-154. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193015662009.pdf>.
- 22 Hai, P. V.; Schonewille, J. T.; Dam-Van, T.; Everts, H. and Hendriks, W. H. 2014. Exposure to a novel feedstuff by goat dams during pregnancy and lactation *versus* pregnancy alone does not further improve post weaning a acceptance of this feedstuff by their kids. *J. Sci. Food Agri.* 96(6):2215-2219. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7338>.
- 23 Haro, A. B.; Artacho, R. y Cabrera-Vique, C. 2006. Ácido linoleico conjugado: Interés actual en nutrición humana. *Med. Clin.* 127(13):508-515. <https://doi.org/10.1157/13093270>.
- 24 Isidro-Requejo, L. M.; Meza-Herrera, C. A.; Pastor-López, F. J.; Maldonado-Jáquez, J. A. and Salinas-González, H. 2019. Physicochemical characterization of goat milk produced in the Comarca Lagunera, Mexico. *Anim. Sci. J.* 90(4):563-573. <https://doi.org/10.1111/asj.13173>.
- 25 Kim, E. J.; Huws, S. A.; Lee, M. R. F.; Wood, J. D.; Muetzel, S. M.; Wallace, R. J. and Scollan, N. D. 2008. Fish oil increases the duodenal flow of long chain polyunsaturated fatty acids and trans-11 18:1 and decreases 18:0 in steers via changes in the rumen bacterial community. *J. Nutr.* 138(5):889-896. <https://doi.org/10.1093/jn/138.5.889>.
- 26 Kim, J. H.; Kim, Y.; Kim, Y. J. and Park, Y. 2016. Conjugated linoleic acid: Potential health benefits as a functional food ingredient. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 7(1):221-244. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-041715-033028>.
- 27 Lahlou, M. N.; Kanneganti, R.; Massingill, L. J.; Broderick, G. A.; Park, Y.; Pariza, M. W.; Ferguson, J. D. and Wu, Z. 2014. Grazing increases the concentration of CLA in dairy cow milk. *Animal.* 8(7):1191-1200. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000998>.

- 28 León, J. M.; Pabón, M. L. and Carulla, J. E. 2011. Pasture traits and conjugated linoleic acid (CLA) content in milk. *Rev. Colomb. Cienc. Pec.* 24(1):63-73. <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v24n1/v24n1a09.pdf>.
- 29 Maldonado-Jáquez, J. A.; Granados-Rivera, L. D.; Hernández-Mendo, O.; Pastor-López, F. J.; Isidro-Requejo, L. M.; Salinas-González, H. y Torres-Hernández, G. 2017. U de un alimento integral como complemento a cabras locales en pastoreo: respuesta en producción y composición química de la leche. *Nova Scientia.* 9(18):55-75. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.728>.
- 30 Mandujano, S.; Barrera-Salazar, A. y Vergara-Castrejón, A. 2019. Similitud de especies de plantas consumidas por rebaños de cabras en el bosque tropical seco de la Cañada, Oaxaca. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 10(2):490-505. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4370>.
- 31 Manousidis, T.; Kyriazopoulos, A. P.; Parissi, Z. M.; Abraham, E. M.; Korakis, G. and Abas, Z. 2016. Corrigendum to grazing behaviour, forage selection and diet composition goats in a Mediterranean woody rangeland. *Small Rumin. Res.* 145:142-153. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.11.007>.
- 32 Mellado, M.; Aguilar, C. N.; Arévalo, J. R.; Rodríguez, A.; García, J. E. and Mellado, J. 2011. Selection for nutrients by pregnant goats on a microphyll desert scrub. *Animal.* 5(6):972-979. <https://doi.org/10.1017/S1751731110002715>.
- 33 Mosley, E. E.; Shafii, B.; Moate, P. J. and McGuire, M. A. 2006. Cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid is synthesized directly from vaccenic acid in lactating dairy cattle. *J. Nutr.* 136(3):570-575. <https://doi.org/10.1093/jn/136.3.570>.
- 34 NRC. 2007. National Research Council. Committee on nutrient requirements of small ruminants. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. National Academy Press, USA. 384 p.
- 35 Núñez-Domínguez, R.; Ramírez-Valverde, R.; Saavedra-Jiménez, L. A. y García-Muñiz J. G. 2016. La adaptabilidad de los recursos zoogenéticos criollos, base para enfrentar l desafíos de la producción animal. *Arch. Zoot.* 65(251):461-468. <http://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/criollo%20recursos.pdf>.
- 36 Prieto-Manrique, E.; Mahecha-Ledesma, L.; Ángulo-Arizala, J. y Vargas-Sánchez, J. E. 2016. Efecto de la suplementación lipídica sobre ácidos grasos en leche de vaca, énfasis en ácido ruménico. *Agronomía Mesoamericana.* 27(2):421-437. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i2.22022>.
- 37 Quiroz-Cardoso, F.; Rojas-Hernández, S.; Olivares-Pérez, J.; Hernández-Castro, E.; Jiménez-Guillén, R.; Córdova-Izquierdo, A.; Villa-Mancera, A. y Abdel-Fattah, S. 2015. Composición nutricional, consumo e índices de palatabilidad relativa de los frutos de tres acacias en la alimentación de ovejas y cabras. *Arch. Med. Vet.* 47(1):33-38. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2015000100007>.
- 38 Ritzenthaler, K. L.; McGuire, M. K.; Falen R.; Shultz, T. D.; Dasgupta, N. and McGuire, M. A. 2001. Estimation of conjugated linoleic acid intake by written dietary assessme methodologies underestimates actual intake evaluated by food duplicate methodology. *J. Nutr.* 131(5):1548-1554. <https://doi.org/10.1093/jn/131.5.1548>.
- 39 Santos, K. C.; Magalhães, A. L. R.; Silva, D. K. A.; Araújo, G. G. L.; Fagundes, G. M.; Ybarra, N. G. and Abdalla, A. L. 2017. Nutritional potential of forage species found in Brazilian Semiarid region. *Livest. Sci.* 195:118-124. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.12.002>.
- 40 SAS Institute. 2002. User's guide of Statistical Analysis System (SAS). SAS Institute Inc. Cary, USA. 550 p.
- 41 Sinclair, A. J.; Attar-Bashi, N. M. and Li, D. 2002. What is the role of alpha linolenic acid for mammals' lipids. *Lipids.* 37(12):1113-1123. <https://doi.org/10.1007/s11745-002-1008-x>.

- 42 Siurana, A. and Calsamiglia, S. 2016. A meta-analysis of feeding strategies to increase the content of conjugated linoleic acid (CLA) in dairy cattle milk and the impact on daily human consumption. *Anim. Feed Sci. Technol.* 217:13-26. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.04.013>.
- 43 Suárez-Paternina, E.; Reza-García, S.; Cuadrado-Capella, H.; Pastrana-Vargas, I.; Espinosa-Carvajal, M. y Mejía-Kerguelén, S. 2015. Variación en la concentración de sólidos solubles durante el día, en tres pasturas en época seca en el valle medio del río Sinú. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropec.* 16(2):181-188.
- 44 Toyos-Vargas, E. A.; Murillo-Amador, B.; Espinoza-Villavicencio, J. L.; Carreón-Palau, L. y Palacios-Espinosa, A. 2013. Composición química y precursores de ácidos vaccénico y ruménico en especies forrajeras en Baja California Sur, México. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 4(3):373-386. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v4n3/v4n3a8.pdf>.
- 45 Ursin, V. M. 2003. Modification of plant lipids for human health: development of functional land-based omega-3 fatty acids. *J. Nutr.* 133(12):4271-4274. <https://doi.org/10.1093/jn/133.12.4271>.
- 46 Van Soest, P. J.; Robertson, J. B. and Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74(10):3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
- 47 Verma, D. K. and Srivastav, P. P. 2020. Bioactive compounds of rice (*Oryza sativa* L.): review on paradigm and its potential benefit in human health. *Trends in Food Sci. Technol.* 97:355-365. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.007>.
- 48 Yang, B.; Chen, H.; Stanton, C.; Ross, R. P.; Zhang, H.; Chen, Y. Q. and Chen, W. 2015. Review of the roles of conjugated linoleic acid in health and disease. *J. Funct. Foods.* 15:314-325. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.03.050>.
- 49 Zapata-Campos, C. C. y Mellado-Bosques, M. A. 2021. La cabra: selección y hábitos de consumo de plantas nativas en agostadero árido, *CienciaUAT.* 15(2):169-185. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v15i2.1409>.



Perfil de ácidos grasos de arbustos forrajeros en el norte de México

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 November 2023
Date accepted: 01 January 2024
Publication date: 04 February 2024
Publication date: January 2024
Volume: 15
Issue: 1
Electronic Location Identifier: e3617
DOI: 10.29312/remexca.v15i1.3617

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

ácido linoleico conjugado
alimento funcional
nutrición de rumiantes

Counts

Figures: 0

Tables: 2

Equations: 0

References: 49

Pages: 0