

Composición química y precursores de ácidos vaccénico y ruménico en especies forrajeras en Baja California Sur, México

Chemical composition and vaccenic and rumenic acid precursors in five rangeland forage species in Baja California Sur, Mexico

Eduardo Alberto Toyes-Vargas^a, Bernardo Murillo-Amador^a, José Luis Espinoza-Villavicencio^b, Laura Carreón-Palau^a, Alejandro Palacios-Espinosa^b

RESUMEN

Los rumiantes pequeños que pastorean la vegetación nativa seleccionan su dieta a partir de una amplia variedad de especies vegetales, que difieren en su contenido y disponibilidad de nutrientes durante el año, y son fuente importante de nutrientes. El objetivo del estudio fue determinar y comparar la composición bioquímica de especies forrajeras asociadas al agostadero de Baja California Sur. Las especies evaluadas fueron huizache, mezquite, palo fierro, palo verde y vinorama, así como alfalfa henificada. Se cuantificó el contenido de materia seca, proteína cruda, lípidos totales, fibra cruda, cenizas, extracto libre de nitrógeno y energía bruta, así como la concentración de ácido linoléico, ácido α -linoléico y ácidos grasos poliinsaturados ARA, EPA y DHA. Los resultados muestran que el palo verde y el mezquite presentaron un contenido mayor de proteína cruda. El huizache mostró la concentración mayor de lípidos totales, seguido de palo verde y mezquite. Huizache y alfalfa henificada presentaron las concentraciones mayores de ácido linoleico; mientras que palo verde alcanzó los niveles más altos de ácido alfa linoléico, seguido por palo fierro y alfalfa henificada. Palo verde, palo fierro y alfalfa henificada obtuvieron concentraciones mayores de ácidos grasos poliinsaturados. El uso de los forrajes de agostadero en la alimentación de los rumiantes es una alternativa que podrá modificar las proporciones de los ácidos grasos de la leche dado el contenido del ácido oleico, linoléico y linoléico, precursores del ácido vaccénico y ruménico y ácidos grasos poliinsaturados de la serie omega 3 como el EPA y el DHA.

PALABRAS CLAVE: Especies forrajeras, Agostadero, Acido linoleico, Acido α -linoléico, Ácidos grasos poliinsaturados.

ABSTRACT

Small ruminants grazing native vegetation select their diet from a wide variety of plant species, which differ in content and nutrient availability during the year, and are important sources of nutrients. The objective of this study was to determine and compare the biochemical composition of rangeland forage species in Baja California Sur. The species evaluated were huizache, mezquite, palo fierro, palo verde and vinorama, as well as alfalfa hay. The dry matter, crude protein, total lipids, crude fiber, ash, nitrogen free extract and gross energy content were quantified as well as the concentration of linoleic acid, α -linolenic acid and polyunsaturated fatty arachidonic (ARA), eicosapentaenoic (EPA) and docosahexaenoic acids (DHA). The results showed that palo verde and mesquite had a higher content of protein crude. Huizache showed the highest concentration of total lipids followed by palo verde and mezquite. Huizache and alfalfa hay showed higher concentrations of linoleic acid, while palo verde reached higher levels of α -linolenic acid, followed by palo fierro and alfalfa hay. Forages species with higher concentrations of polyunsaturated fatty acids included palo verde, palo fierro and alfalfa hay. The use of rangeland forage in the diet of ruminants is an alternative that may change the proportions of milk fatty acid content due to the oleic acid and linoleic and linolenic acid content, vaccenic and rumenic acids precursors and polyunsaturated fatty acids series such as omega 3 EPA and DHA.

KEY WORDS: Rangeland forage, Linoleic acid, α -linolenic acid, Polyunsaturated fatty acids.

Recibido el 8 de marzo de 2012. Aceptado el 15 de enero de 2013.

^a Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, Baja California Sur, México.

^b Universidad Autónoma de Baja California Sur. Área de Conocimiento de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. La Paz, Baja California Sur, México. palacios@uabcs.mx. Correspondencia al último autor.

Debido a las limitantes en la producción de forrajes destinados a la actividad agropecuaria en las zonas áridas y semiáridas de México, surge la necesidad de implementar fuentes de alimento, que además de poseer características nutritivas y adaptativas de interés, deben hacer un uso eficiente del agua⁽¹⁻⁵⁾. Lo anterior hace que la composición química de las especies nativas sea de sumo interés, ya que si éstas presentaran concentraciones importantes de nutrimentos y específicamente de ácidos grasos esenciales como el ácido linoleico y α -linolénico (LA y ALA), podrían ser forrajes de alta calidad, y sería importante tomarlos en cuenta en el diseño de sistemas de alimentación basados en el pastoreo en agostadero. Los lípidos representan del 8 al 10 % de la materia seca en las hojas de las plantas forrajeras⁽⁶⁾, contienen ácidos grasos, comúnmente de 14 a 18 carbonos⁽⁷⁾, poliinsaturados principalmente (70 a 80 %), predominando LA y ALA^(8,9).

El término ácido graso esencial hace referencia a que los rumiantes, así como todos los mamíferos, no pueden sintetizar este tipo de compuestos, de ahí que el LA y ALA son nutrientes esenciales en la dieta⁽¹⁰⁾. Lo anterior se debe a que sólo las células vegetales son capaces de sintetizar LA y ALA a partir de ácido oleico, mediante la acción de la $\Delta 15$ y $\Delta 12$ desaturasa, respectivamente⁽¹¹⁾. El ALA está presente en altas concentraciones en la biomasa fresca de algunos forrajes, pudiendo acumular hasta el 75 % de la fracción lipídica total⁽¹²⁾, ya que forman parte de los digalactosil diglicéridos asociados a las membranas tilacoidales de los cloroplastos, siendo así el ácido poliinsaturado predominante en las plantas terrestres⁽¹³⁾; además, es precursor de ácidos grasos poliinsaturados benéficos a la salud, como el ácido eicosapentanoico (EPA) y docosahexanoico (DHA)⁽¹⁴⁾. En los rumiantes además de la síntesis del EPA y DHA a partir del ALA, se producen isómeros de importancia biológica, como el ácido vaccénico (VA) que junto con LA son precursores del ácido ruménico (RA), el cual es producto de la biohidrogenación ruminal (BH) incompleta del ALA y LA presente

Livestock forage production is limited in the semiarid and arid regions of Mexico. Alternative feed resources are needed in these areas that provide nutritional and adaptive benefits, as well as efficient use of water⁽¹⁻⁵⁾. Under these circumstances, native species can be a promising alternative, although they require chemical analyses to determine their nutritional potential. If they contain significant concentrations of nutrients, especially essential fatty acids such as linoleic acid (LA) and α -linolenic acid (ALA), they may be high quality forages worth considering when designing rangeland grazing systems.

In forage plants, lipids represent from 8 to 10 % of leaf dry matter⁽⁶⁾. Dry matter includes fatty acids, usually of 14 to 18-carbons⁽⁷⁾, with 70 to 80 % being polyunsaturated, which consist predominantly of the essential fatty acids LA and ALA^(8,9). The term "essential" indicates that mammals, including ruminants, cannot synthesize these compounds, making LA and ALA essential dietary nutrients⁽¹⁰⁾. Only plant cells can synthesize these acids from oleic acid, by the enzyme $\Delta 15$ -desaturase for LA and $\Delta 12$ -desaturase for ALA⁽¹¹⁾. The fresh biomass of some forages contains high ALA concentrations, with proportions as high as 75 % of the total lipids fraction⁽¹²⁾. Essential fatty acids form part of the digalactosyl diglycerides associated with the thylakoidal membranes in chloroplasts, making polyunsaturated acid the predominant fatty acid in terrestrial plants⁽¹³⁾. It is also a precursor to beneficial polyunsaturated fatty acids such as eicosapentanoic acid (EPA) and docosahexanoic acid (DHA)⁽¹⁴⁾. In addition to EPA and DHA synthesis from ALA, ruminants produce biologically important isomers such as vaccenic acid (VA). Both VA and LA are precursors for rumenic acid (RA), a product of the incomplete ruminal biohydrogenation (BH) of ALA and LA in the forage in ruminant feed^(14,15,16). The RA and VA that escape the rumen are absorbed in the small intestine and are transported to the mammary gland, where VA is partially used as a substrate to synthesize RA^(9,15,16).

en los forrajes que conforman la dieta^(14,15,16). El RA y VA que escapan del rumen son absorbidos en el intestino delgado y transportados a la glándula mamaria, en donde el VA se utiliza parcialmente como sustrato para sintetizar RA^(9,15,16), al cual se le han atribuido numerosas propiedades benéficas a la salud humana^(17,18). Considerando lo anterior, es interesante conocer cuáles especies de la vegetación nativa que utiliza el ganado caprino pueden contener mayores cantidades de LA y ALA, que contribuyan a mejorar los perfiles de ácidos grasos benéficos a la salud en los productos de este origen. El objetivo del presente estudio fue analizar la composición química, así como el perfil de ácidos grasos de especies forrajeras del agostadero que son utilizadas como fuente de alimento por el ganado caprino manejado en pastoreo extensivo.

El presente trabajo se realizó en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR), localizado en 24° 08' 09.47" N y 110° 25' 40.36" O, a 8 msnm, a 17 km al noroeste de La Paz, BCS, México. Con clima tipo BW (h ') hw (e) considerado como semiárido, con vegetación xerófila. Los suelos se caracterizan por ser de buenas condiciones de aireación y penetrabilidad de las raíces de plantas y retención de agua, con alto contenido de arena, pH neutro en la superficie y ligeramente alcalino entre 20 a 60 cm de profundidad, con bajo contenido de materia orgánica (menos de 1 %).

Se analizaron seis especies vegetales, de las cuales, la alfalfa henificada (*Medicago sativa*) se usó como testigo, las otras cinco fueron especies forrajeras nativas del agostadero. La alfalfa henificada incluyó hoja y tallo y se obtuvo de un lote comercial de Cd. Constitución, B.C.S. Las muestras de especies forrajeras fueron huizache (*Acacia farnesiana*), mezquite (*Prosopis glandulosa*), palo fierro (*Olneya tesota*), palo verde (*Cercidium floridum*) y vinorama (*Acacia brandegeana*). Las muestras de estas especies incluyeron sólo hojas, las cuales se muestrearon de la siguiente manera:

Rumenic acid has been attributed to provide a number of benefits in human health^(17,18).

To take full advantage of a livestock grazing system, it is important to quantify diet composition, including contributions from native species. Understanding which native forage species provide the highest amounts of LA and ALA can aid in improving the profile of beneficial fatty acids in livestock products. The objective of the present study was to analyze the chemical composition and fatty acids of rangeland forage species used as feed by goats in an extensive grazing system in the state of Baja California Sur, Mexico.

The present study was done at the Northwest Center for Biological Research (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. - CIBNOR), located 17 km northwest of La Paz, Baja California Sur (BCS), Mexico (24° 08' 09.47" N; 110° 25' 40.36" W). At 8 m asl, the area has a BW (h ') hw (e) climate type, which is semiarid with xerophilic vegetation. Soils in the region are well aerated, and are easily penetrated by plant roots and retain water. Sand content is high, organic matter content is low (<1 %), surface pH is neutral but slightly alkaline between 20 and 60 cm depth.

Six plant species were analyzed, all of which are consumed by goats as part of an extensive livestock systems in the region. For comparison and as a control of the forage species consumed by the goats, alfalfa hay (*Medicago sativa*), including stems and leaves, was acquired commercially in Cd. Constitución, BCS. Samples (leaves only) of five wild forage species were collected: needle bush (*Acacia farnesiana*); honey mezquite (*Prosopis glandulosa*); ironwood (*Olneya tesota*); palo verde (*Cercidium floridum*); and Baja California Acacia (*Acacia brandegeana*). Samples were collected in the locality of Jesús María, BCS (25° 19' 52.98" N; 111° 25' 40.86" W). Located at 160 m asl, the area has a 22.6 °C average annual temperature (42.2 °C maximum; 1.7 °C minimum) and 172.9 mm average annual rainfall. Collections were

con el fin de evitar influencia del observador en la conducta animal, se hizo un recorrido con al menos dos grupos de personas que iban detrás de las cabras anotando y colectando las muestras de especies vegetales que consumieron. Cuando la mayoría de las cabras elegían una especie vegetal en particular para consumirla ($N > 75\%$), se tomaban manualmente cuatro muestras de aproximadamente 300 g de la parte consumida por el animal y aproximadamente a la altura donde consumían las cabras. Las muestras se colocaban 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 se tomaron en la cercanía de la comunidad de Jesús María, B.C.S., localizada a $25^{\circ} 19' 52.98''$ N y $111^{\circ} 25' 40.86''$ O, a 160 msnm, con temperaturas anuales promedio de 22.6°C , máximas de 42.2°C , mínimas de 1.7°C y precipitación promedio de 172.9 mm.

Para la determinación de materia seca (MS), las muestras se sometieron a 105°C por 4 h en horno de secado (Terlab[®]). Para los análisis químicos, se secaron en horno (HTP-80[®]) a 70°C hasta peso constante. Las cenizas se determinaron por combustión a 600°C durante 5 h utilizando mufla (Thermoline 6000[®]). La proteína cruda se determinó en un destilador (Foss Kjelttec 230[®]) durante 4 min y en digestor (Foss Kjelttec 2040[®]) durante 25 min, por el método microkjeldahl. La fibra cruda se cuantificó por hidrólisis sucesiva en una multiunidad de extracción (Fiber Tec M6 Tecator[®]) y la energía bruta se determinó mediante un calorímetro (PARRI261[®])(19).

Para el análisis de lípidos totales y de ácidos grasos, las muestras se liofilizaron en estado fresco-verde por un periodo de 24 h, en una liofilizadora Virtis 5L[®], luego se pulverizaron y se extrajeron los lípidos totales (LT) con una mezcla de solventes de agua:cloroformo:metanol (0.5:1:2) basados en la técnica de Bligh y Dyer(20). Una fracción de los lípidos se usó

made using a method intended to prevent observer influence in animal behavior. At least two groups of observers followed grazing goats at a distance, documenting and collecting samples from the plants the goats ate. When most of the goats in a herd ($N > 75\%$) grazed a particular plant species, four samples (300 g each) were collected of the plant part eaten by the goats (leaves in all cases) at the approximate height the goats grazed at. Samples were placed in paper bags for later transport to the laboratory. All the plants grazed by the goats were mature and adult with green foliage.

Dry matter content analysis was done by first drying the samples in a drying oven (Terlab[®]) at 105°C for 4 h. Chemical analyses were run after drying samples in an oven (HTP-80[®]) at 70°C until constant weight. Ash content was measured after combustion at 600°C for 5 h in a furnace (Thermoline 6000[®]). Crude protein was measured following the microkjeldahl method, using a distiller (Foss Kjelttec 230[®]) for 4 min and a digester (Foss Kjelttec 2040[®]) for 25 min. Crude fiber was quantified by successive hydrolysis in an extraction multiunit (Fiber Tec M6 Tecator[®]), and gross energy measured with a calorimeter (PARRI261[®])(19).

Total lipids and fatty acids analyses were done by first lyophilizing fresh-green samples in a lyophilizer (Virtis 5L[®]) for 24 h. They were then pulverized and total lipids (TL) extracted with a water:chloroform:methanol mixture following Bligh and Dyer(20). One fraction of lipids was used for quantification according to Marsh and Weinstein(21). The other was dried with gaseous N_2 , 2.5 ml hydrochloric acid-methanol HCl:MeOH (5:95) added and this mixture heated to 85°C for 2.5 h to methylate the lipids(22). After cooling to room temperature, 1.5 ml hexane was added, the solution mixed with a vortex to separate the upper phase and this phase was placed in a previously labeled, clean test tube. This was repeated a second time where 1.5 ml hexane was added to the original sample, vortexed and the upper phase separated and stored at -20°C for 24 h. These

para cuantificar por el método de calcinación de Marsh y Weinstein⁽²¹⁾ y la otra fracción se secó con N₂ gaseoso y se le agregaron 2.5 ml de ácido clorhídrico-metanol HCl:MeOH (5:95); se calentaron a 85 °C por 2.5 h para metilar los lípidos basado en el método Sato y Murata⁽²²⁾; se dejaron enfriar a temperatura ambiente, y posteriormente se les agregó 1.5 ml de hexano, mezclando con el vortex para separar la fase superior, misma que se colocó en tubo de ensayo limpio con rosca; previamente etiquetados. A la muestra original se le adicionó 1.5 ml de hexano y se volvió a separar la fase superior, la cual se almacenó a -20 °C por 24 h; posteriormente se secaron en un evaporador con N₂ gaseoso. A cada muestra se le agregó el hexano necesario para obtener una concentración de ácidos grasos dentro del rango lineal del cromatógrafo de gases de espectrometría de masas⁽²²⁾, añadiéndole una cantidad conocida de sulfato de sodio anhidro con la finalidad de eliminar cualquier residuo de agua⁽²³⁾.

Los metil-ésteres se separaron utilizando el cromatógrafo de gases CP-3800-1200 QUADRUPOLE MS VARIAN, con mezcla de 37 estándares (Supelco 47885-U), Columna Omega wax 30 m * 0.25 mm * 0.25 mm (Supelco PL:107702). El helio se utilizó como gas acarreador con flujo de 1 ml/min. La temperatura inicial de la columna fue de 110 °C, la cual se mantuvo por 3 min para luego incrementarse a una tasa de 30°/min hasta llegar a 165 °C, manteniéndola a esta temperatura durante 2 min. A continuación se incrementó de nuevo a una tasa de 10 °C por minuto hasta llegar a 210 °C, manteniéndola por un tiempo de 2 min. Finalmente, la temperatura se incrementó a una tasa de 3 °C por minuto hasta conseguir los 240 °C y manteniéndola durante 10 min. La temperatura del inyector y del detector fue de 250 °C.

Los ácidos grasos se identificaron por la comparación de los espectros de masas, mediante confirmación por interpretación de los espectros de metil-ésteres de ácidos grasos

were then dried in an evaporator with gaseous N₂. Sufficient hexane was added to each sample to produce a fatty acid concentration within the linear range of the mass spectrometry gas chromatographer⁽²²⁾. A known amount of anhydrous sodium sulfate was added to eliminate any residual water⁽²³⁾.

Methyl esters were separated using a gas chromatographer (CP-3800-1200 QUADRUPOLE MS VARIAN), with a mix of 37 standards (Supelco 47885-U), an Omega wax column (30 m * 0.25 mm * 0.25 mm; Supelco PL:107702), and helium as the gas vehicle. Injector and detector temperatures were both 250 °C. Run temperatures and times were: initial temperature 110 °C for 3 min; increased at 30 °C/min to 165 °C; 165 °C for 2 min; increased at 10 °C/min to 210 °C; 210 °C for 2 min; increased at 3 °C/min to 240 °C; and 240 °C for 10 min.

Fatty acids were identified by comparing fatty acid methyl ester spectra⁽²⁴⁾ retention times of the samples to the retention times of 37 fatty acid methyl-ester standards by mass spectra. To calculate sample fatty acid concentration, the area below the peaks was summed. This was then compared to interpolated calibration curves of five known concentrations (5, 10, 20, 40 and 80 µg/ml) for each of the 37 fatty acid methyl-ester standards to their respective areas below the peak, with the area being directly proportional to concentration.

An analysis of variance (ANOVA) was done using forage species as the variable and the data was arranged to insure a totally random design with four replicates. Statistically significant differences ($P < 0.05$) between species were compared with a Fisher means test ($P < 0.05$). All data values are presented as a mean with standard error. To meet the ANOVA assumptions, the data presented as g/100 g were arc-sine transformed. All statistical analyses were run with the XL STAT PRO ver. 7.5 package.

según McLafferty y Turecek⁽²⁴⁾, así como la comparación de los tiempos de retención de los picos en la muestra, con los tiempos de retención de un patrón comercial de 37 metil-ésteres de ácidos grasos. Para calcular la concentración de los ácidos grasos de las muestras, se integró el área bajo los picos y se interpoló con una curva de calibración que relaciona cinco concentraciones conocidas (5, 10, 20, 40 y 80 µg/ml) de cada uno de los 37 estándares de ácidos grasos metil esterificados, con sus respectivas áreas bajo el pico, siendo el área directamente proporcional a la masa del sistema.

Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) considerando como fuente de variación a las especies forrajeras, analizadas mediante un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Cuando se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) entre dichas especies, se utilizó la prueba de comparación de medias de Fisher ($P < 0.05$). Los datos se presentan con el promedio y su error estándar correspondiente. Para cumplir con los supuestos del análisis de varianza los datos presentados en g/100 g se transformaron previamente utilizando arcoseno. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa XL STAT PRO versión 7.5.

El contenido de materia seca (MS) fue mayor en mezquite, palo fierro y huizache, ubicándose

Dry matter (DM) content was highest in honey mesquite, followed by ironwood, needle bush, palo verde, Baja California Acacia and alfalfa hay (Table 1). Values for DM were similar to those for honey mesquite and values that have been reported for alfalfa hay and *Pennisetum purpureum*, while ironwood and palo verde were found to have higher DM values than *Vigna unguiculata* L., also from the Fabaceae family⁽⁵⁾. In a study of nine tropical zone forages⁽²⁵⁾, all nine had lower DM values than reported here. The same was true of forages such as *Medicago polymorpha*, *Lolium rigidum* and *Hedysarum coronarium* in the vegetative phase⁽⁷⁾.

Crude protein (CP) was highest ($P < 0.001$) in palo verde, followed by honey mezquite and needle bush. Alfalfa hay and ironwood had similar ($P > 0.05$) values, and Baja California Acacia had the lowest value. Compared to CP values reported for *Acacia constricta* and *Acacia shaffneri* in a study of native plant species in the semiarid region of northern Mexico⁽²⁵⁾, needle bush had higher values and Baja California Acacia had lower values. The present honey mesquite CP values were higher than *Prosopis glandulosa* and *P. levigata* values reported in the same study. Palo verde CP values reported here were higher than values for this species found in the above study. In another study of chemical composition in alternative forages in arid ecosystems⁽⁵⁾, both

Cuadro 1. Composición química (media±EE; g/100 g de MS) de alfalfa henificada y cinco especies forrajeras de agostadero

Table 1. Chemical composition (mean±SE; g/100 g DM) of alfalfa hay and five rangeland forage species

Variable	AH	NB	HM	IW	PV	BCA	P<
DM	92.53±0.09 ^c	94.91±0.27 ^{ab}	96.38±0.68 ^a	95.47±0.82 ^{ab}	94.17±0.61 ^{bc}	94.22±0.56 ^{bc}	0.024
CP	16.47±0.78 ^{cd}	18.83±1.05 ^{bc}	21.88±1.39 ^{ab}	17.53±0.07 ^{cd}	22.74±1.52 ^a	14.69±0.26 ^d	0.001
TL	0.85±0.08 ^d	5.42±0.10 ^a	2.55±0.01 ^{bc}	2.29±0.20 ^c	3.22±0.55 ^b	1.31±0.17 ^d	0.0001
CF	23.26±2.15 ^{ab}	22.60±1.25 ^{ab}	24.83±0.32 ^a	15.10±1.35 ^c	19.97±0.86 ^b	23.53±1.00 ^{ab}	0.001
A	12.25±0.81 ^a	6.95±0.44 ^b	6.25±0.38 ^{bc}	7.17±0.11 ^b	5.77±0.16 ^c	6.34±0.15 ^{bc}	0.0001
GE ¹	4.35±0.01 ^c	5.22±0.04 ^a	5.11±0.01 ^{ab}	4.74±0.05 ^{abc}	4.60±0.02 ^{bc}	5.15±0.06 ^{ab}	0.048

AH= alfalfa hay; NB= needle bush; HM= honey mezquite; IW= ironwood; PV= palo verde; BCA= Baja California acacia. DM= dry matter; CP= crude protein; TL= total lipids; CF= crude fiber; A= ash; GE= gross energy. ¹ Mcal/kg.

abcd Means with different letters in the same row indicate significant difference.

en orden descendente, palo verde, vinorama y alfalfa henificada (Cuadro 1). Valores similares de MS a los obtenidos por mezquite, mostraron alfalfa henificada y *Pennisetum purpureum*; sin embargo, en especies de la misma familia (Fabaceae) se observó que *Vigna unguiculata* L. posee menos materia seca que palo fierro y palo verde. En otro trabajo donde analizaron nueve especies forrajeras de zonas tropicales (25), se encontró que las cantidades de MS son menores a las encontradas en el presente estudio. Por su parte, Cabiddu *et al*(7) reportaron cantidades menores de MS respecto a las mostradas en el presente trabajo en forrajes en fase vegetativa, como *Medicago polymorpha*, *Lolium rigidum* y *Hedysarum coronarium*.

La mayor concentración de proteína cruda (PC) se presentó en palo verde ($P<0.001$), seguido por mezquite y huizache. La alfalfa henificada y el palo fierro presentaron valores estadísticamente iguales entre sí. El contenido menor de PC lo presentó vinorama. Un estudio realizado por Guerrero *et al*(25) en especies nativas de la región semiárida del norte de México, reportó valores superiores en el contenido de PC de *Acacia constricta* y *Acacia shaffneri* respecto a los encontrados en el presente estudio en *Acacia brandegeana* (vinorama). Sin embargo, *Acacia farnesiana* (huizache) del presente estudio, mostró mayores concentraciones que ambas acacias. También se encontró que *Prosopis levigata* presentó valores menores de PC respecto a *Prosopis glandulosa* evaluado en el presente estudio. De las plantas analizadas en ambos estudios, se observó que mezquite y palo verde, acumularon una cantidad mayor de PC. En otro estudio(5), se analizó la composición química de forrajes alternativos en ecosistemas áridos, observándose que *Pennisetum purpureum* y los cladodios tiernos de *Opuntia* spp mostraron valores inferiores de PC que los reportados en el presente estudio en huizache y palo fierro. Recientemente, Corral-Luna *et al*(26) analizaron la composición química de ensilaje de *Zea mays* y *Sorghum bicolor*, encontrando que las concentraciones de PC fueron inferiores a las reportadas en el presente estudio.

P. purpureum and young *Opuntia* spp cladodes contained less CP than in the needle bush and ironwood analyzed here. Even *Zea mays* and *Sorghum bicolor* silages(26) had lower CP values than the native forages reported here.

Total lipids (TL) content differed ($P<0.01$) among the six evaluated forage species. Ironwood had the highest value, followed by palo verde, honey mesquite and ironwood (not different), and Baja California Acacia and alfalfa hay. The latter two values were similar to those reported for alfalfa and *Avena sativa* straw(27). Total lipids in palo verde was similar to levels reported for corn silage, while TL in honey mesquite and ironwood were near that of sorghum silage(26). The alfalfa TL value reported here differs from one for a previous study of alfalfa hay from the same city of origin, Cd. Constitución(5).

The six studied species exhibited clear differences ($P<0.001$) in crude fiber (CF) content. Honey mesquite had the highest value, followed by alfalfa hay, needle bush and Baja California Acacia (but not significantly different), and finally palo verde and ironwood. All six studied species had values higher than previously reported CF content in palo verde, and the palo verde studied here had a CF value similar to that of *Leucaena leucocephala*(28). In a study of forages for arid ecosystems(5), *V. unguiculata* was found to have CF concentrations similar to the present ironwood values, while *P. purpureum* had a CF value higher than those analyzed here.

Ash content differed ($P<0.01$) between the six studied species with alfalfa hay having the highest content, followed by needle bush and ironwood (no difference), honey mesquite and Baja California Acacia (not different), and palo verde with the lowest value. Corn silage ash content values reported elsewhere(26) were not different from those for palo verde, while sorghum silage values reported in the same study were higher than the five wild forage species studied here but lower than in the alfalfa

El ANOVA para lípidos totales (LT) mostró diferencias significativas ($P<0.01$) entre las especies evaluadas, siendo huizache la especie que mostró la concentración mayor, seguido de palo verde; por su parte, mezquite y palo fierro mostraron concentraciones estadísticamente iguales, mientras que vinorama y alfalfa henificada fueron las de menor contenido. Los valores de LT de alfalfa henificada y vinorama fueron similares a los reportados por Torres et al.(27) en especies como alfalfa y paja de *Avena sativa*. Los LT de palo verde son similares a los de ensilado de maíz, mientras que los de mezquite y palo fierro son similares a los del ensilado de sorgo, que corresponden a lo reportado por Corral-Luna et al.(26). También se encontró diferencia en la concentración de LT en alfalfa henificada respecto a una muestra de alfalfa henificada del mismo sitio de origen(5).

hay. Ash concentration analyses for *Acacia* spp. done as part of a study on goat forage preferences(29) found values lower than for the *Acacia* species analyzed here.

Gross energy (GE) differed ($P<0.048$) among the studied forages with needle bush having the highest content, followed by honey mesquite, Baja California Acacia, ironwood and palo verde (not different), and alfalfa hay with the lowest value. The studied species contained more GE than *Opuntia elatior* cladodes and pulp, but less than in the pericarp of this cactus and much less than its seeds(30). Needle bush, Baja California Acacia and honey mesquite all had GE values higher than reported for *V. unguiculata*, *P. purpureum* and *Opuntia* spp. cladodes(5).

Cuadro 2. Concentración de ácidos grasos (media±EE; g/100 g de ácidos grasos) de alfalfa henificada y cinco especies forrajeras de agostadero

Table 2. Fatty acids concentrations (mean±SE; g/100 g fatty acid) of alfalfa hay and five rangeland forage species

Fatty acids	AH	NB	HM	IW	PV	BCA	P<
12:0	ND	0.62±0.12 ^a	0.15±0.09 ^b	0.52±0.006 ^a	ND	0.12±0.06 ^b	0.0002
14:0	1.80±0.30 ^a	1.15±0.35 ^{ab}	0.40±0.09 ^c	0.83±0.04 ^{bc}	0.86±0.01 ^{bc}	0.33±0.2 ^c	0.0089
15:0	0.36±23.00 ^{ab}	0.3±0.2 ^{ab}	0.12±0.06 ^{ab}	0.60±0.16 ^a	0.32±0.04 ^{ab}	0.16±0.1 ^{ab}	0.3464
16:0	33.61±2.62 ^{ab}	23.7±3.66 ^{abc}	11.74±1.4 ^{bc}	20.53±7.88 ^{abc}	34.71±2.73 ^a	5.97±2.13 ^c	0.0907
16:1 n-9	4.63±0.57 ^a	1.06±0.11 ^{bc}	1.33±0.16 ^b	0.72±0.06 ^{cd}	0.27±0.13 ^e	0.39±0.13 ^{de}	0.0001
17:0	0.84±0.12 ^a	1.16±0.69 ^a	0.60±0.01 ^a	0.58±0.14 ^a	0.79±0.02 ^a	0.39±0.23 ^a	0.6462
18:0	7.36±0.97 ^{ab}	11.05±6.00 ^{ab}	5.86±0.001 ^{ab}	6.52±2.33 ^{ab}	12.64±1.71 ^a	2.60±1.67 ^b	0.2003
18:1 n-9c	4.55±0.87 ^b	6.16±1.42 ^{ab}	1.81±0.49 ^b	4.03±5.87 ^b	7.57±1.42 ^a	1.51±0.63 ^b	0.0003
18:2 n-6c	17.17±1.75 ^a	19.03±1.24 ^a	8.45±1.62 ^b	11.85±0.81 ^b	13.33±1.69 ^b	3.61±1.32 ^c	0.0023
18:3 n-3c	30.74±1.60 ^{ab}	21.32±1.19 ^b	24.44±5.28 ^b	31.34±15.43 ^{ab}	37.34±1.54 ^a	4.88±1.98 ^c	0.0002
20:0	1.44±0.30 ^b	1.86±0.58 ^{ab}	1.22±0.09 ^b	3.25±0.55 ^a	1.59±0.19 ^b	1.13±0.89 ^b	0.1369
20:1 n-11	0.42±0.15 ^a	0.33±0.22 ^{ab}	0.01±0.008 ^b	0.05±0.001 ^b	0.16±0.05 ^{ab}	0.02±0.01 ^b	0.1047
20:1 n-9	0.17±0.04 ^b	0.18±0.09 ^b	0.03±0.02 ^b	0.09±0.02 ^b	0.54±0.09 ^a	0.02±0.01 ^b	0.0004
21:0	0.14±0.13 ^b	0.22±0.07 ^{ab}	0.11±0.007 ^b	0.16±0.05 ^b	0.33±0.03 ^a	0.10±0.05 ^b	0.0918
22:0	2.09±0.29 ^b	1.37±0.57 ^{ab}	0.66±0.03 ^b	0.80±0.09 ^b	1.24±0.16 ^a	1.06±0.69 ^b	0.3703
23:0	1.12±0.14 ^a	0.24±0.23 ^{bc}	0.06±0.03 ^c	0.35±0.13 ^{bc}	0.57±0.01 ^b	0.16±0.15 ^{bc}	0.0107
24:0	1.84±0.50 ^a	1.06±0.29 ^a	0.69±0.03 ^a	1.14±0.22 ^a	0.84±0.005 ^a	1.47±1.01 ^a	0.6981
25:0	0.56±0.08 ^a	0.26±0.19 ^{ab}	0.07±0.04 ^b	0.37±0.05 ^{ab}	ND	0.32±0.19 ^{ab}	0.1076
SFA	51.16±4.79 ^{ab}	42.99±2.81 ^{ab}	21.69±1.41 ^{ab}	35.66±1.49 ^a	54.87±1.05 ^{ab}	13.81±0.71 ^{ab}	0.1624
MUFA	10.51±0.84 ^{ab}	10.23±0.67 ^{ab}	3.96±0.76 ^b	12.85±4.6 ^{ab}	21.77±6.13 ^a	2.37±0.09 ^b	0.0626
PUFA	47.92±0.02 ^{ab}	33.68±1.16 ^b	32.89±0.69 ^b	43.19±0.15 ^{ab}	51.27±1.62 ^a	8.49±0.26 ^c	0.0461

AH= alfalfa hay; NB= needle bush; HM= honey mezquite; IW= ironwood; PV= palo verde; BCA= Baja California acacia. SFA= saturated fatty acids; MUFA= monounsaturated fatty acids; PUFA= polyunsaturated fatty acids; ND= not detected.

abc Means with different letters in the same row indicate difference (Fisher P=0.05).

Los resultados mostraron diferencias significativas ($P < 0.001$) para fibra cruda (FC) entre las especies evaluadas; mezquite presentó valores superiores, seguido de alfalfa henificada, huizache y vinorama con concentraciones estadísticamente iguales entre éstas. Palo verde y palo fierro mostraron valores inferiores. El contenido de FC de palo verde fue similar al de *Leucaena leucocephala* pero superior al de palo fierro reportado por García *et al*(28); sin embargo, el resto de las especies del presente estudio mostraron mayor cantidad de FC. En un trabajo donde se analizaron forrajes para ecosistemas áridos(5), se evaluó la cantidad de FC en *Vigna unguiculata*, especie que presentó concentraciones similares a palo fierro, mientras que *Pennisetum purpureum*, mostró mayor concentración de FC que todas las especies analizadas en el presente trabajo.

Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.01$) entre las especies forrajeras evaluadas para cenizas. La alfalfa henificada mostró la concentración mayor, seguida por huizache y palo fierro con igualdad estadística entre estos dos. Mezquite y vinorama mostraron valores estadísticamente iguales entre ellos, mientras que palo verde mostró la concentración menor. En un trabajo realizado por Corral-Luna *et al*(26) analizaron la concentración de cenizas en ensilado de maíz, que presentó cantidades similares a palo verde, especie que mostró la concentración menor de cenizas en el presente estudio. También analizaron el ensilado de sorgo, el cual acumuló más cenizas que todas las especies forrajeras evaluadas; sin embargo, su contenido fue menor al de alfalfa henificada. En una investigación sobre la preferencia de algunas especies en caprinos(29), la concentración de cenizas en *Acacia* spp fue inferior a las reportadas en las plantas del género *Acacia* del presente estudio.

Los resultados mostraron diferencias ($P < 0.048$) entre las especies evaluadas para energía bruta (EB), siendo huizache la especie que presentó

No differences ($P > 0.05$) were observed between the six species in saturated (SFA) and monounsaturated fatty acids (MUFA) contents, although differences ($P < 0.05$) were detected for polyunsaturated fatty acids (PUFA)(Table 2). The observed values confirm fatty acids data for different species, grass cultivars and legumes in that 18:3 n-3c, 18:2 n-6c and 16:0 were the most abundant fatty acids(31). This also held true in the six species evaluated here. Concentrations of C16:0 were particularly high, probably due to plants' adaptation mechanism in hot arid zones, in which they reduce plant membrane fluidity by incorporating more SFA (mainly C16:0), thus decreasing evaporation.

In terms of PUFA, the alfalfa hay had the highest concentration, followed in descending order by needle bush, ironwood, palo verde, Baja California Acacia and finally honey mesquite. Polyunsaturated fatty acid concentrations in other forages such as X Triticosale Wittmack and *Lolium perenne* are reported to be higher(12), sometimes as much as twice as high, as documented here for needle bush, honey mesquite and Baja California Acacia. This is probably due to nitrogen fertilization, which triggers synthesis and accumulation of lipids and fatty acids in plants, especially PUFA such as C18:3 and C18:2(12).

Due to their importance as precursors to beneficial fatty acids in products from ruminants(9,14,15,16), the PUFA α -linolenic (ALA) and linoleic acids (LA) receive extensive attention. The studied forages had different ($P < 0.01$) ALA concentrations, the highest being in palo verde followed by ironwood and alfalfa hay (not different), needle bush and honey mesquite (not different), and finally Baja California Acacia. Forage legumes such as *M. sativa*, *Lotus corniculatus*, *Dactylis glomerata* and *Poa pratensis* produced in irrigated and fertilized pastures are reported to have ALA concentrations higher than what was found for the rangeland species evaluated here(31).

la cantidad mayor, seguido de mezquite y vinorama. Palo fierro y palo verde mostraron valores similares, mientras que alfalfa henificada presentó valores inferiores. Moreno-Álvarez *et al*⁽³⁰⁾, encontraron que los cladodios y la pulpa de *Opuntia elatior*, contienen menor EB que las especies evaluadas en el presente estudio. También se observaron concentraciones superiores en pericarpio y muy superiores en las semillas de esta especie respecto a los valores encontrados en las especies evaluadas. Se observó que huizache, vinorama y mezquite presentaron mayor EB que *Vigna unguiculata*, *Pennisetum purpureum* y los cladodios de *Opuntia spp*⁽⁵⁾.

Para ácidos grasos saturados (AGS) y monoinsaturados (AGM) no se encontraron diferencias significativas entre las especies evaluadas ($P>0.05$). Sin embargo, los forrajes mostraron diferencias significativas ($P<0.05$) para ácidos grasos poliinsaturados (AGP) (Cuadro 2). Los resultados del presente estudio confirman lo reportado por Boufaïed *et al*⁽³¹⁾ quienes compararon diferentes especies y cultivares de pastos y leguminosas, encontrando que los tres ácidos grasos más abundantes fueron el 18:3 n-3c, 18:2 n-6c y 16:0. Lo anterior se presentó en las seis especies evaluadas, además, las concentraciones de 16:0 fueron particularmente altas, lo cual es probable que se deba a un mecanismo de adaptación de las plantas a las zonas con altas temperaturas, que consiste en la reducción de la fluidez de las membranas de la planta, mediante una mayor incorporación de AGS, principalmente 16:0, disminuyendo así la evapotranspiración.

Alfalfa henificada, huizache, palo fierro y palo verde, seguido de vinorama fue el orden de los valores de las concentraciones de AGP en las especies evaluadas. Mezquite mostró la concentración menor. En relación a lo anterior, Clapham *et al*⁽¹²⁾ evaluaron la concentración de ácidos grasos de algunos forrajes como X Triticosale Wittmack y *Lolium perenne*, en donde

Differences were also found among the studied species for LA, with needle bush and alfalfa hay having the highest concentrations followed by palo verde, ironwood, honey mesquite, and Baja California Acacia. In an evaluation of LA in pasture plants such as *Lolium multiflorum*, *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* and *Trifolium pretense*⁽³¹⁾, concentrations were similar to those in the rangeland species studied here. The exception is Baja California Acacia, which had the lowest concentration for most of the tested fatty acids, including LA.

The ALA concentrations observed in the present study contrast with those in other studies^(32,33). These report LA concentrations ranging from 11 to 22 %, similar to those in the studied rangeland, but ALA values of 45 to 70 %, higher than observed here.

Ortega-Pérez *et al*⁽⁵⁾ reported a series of comparable LA and ALA data. They observed ALA concentrations in *Opuntia spp* cladodes and alfalfa hay that did not differ from those recorded for palo verde in the present study. For LA, the concentrations in a *V. unguiculata* (G18) variety were similar to that of honey mesquite, while that for *P. purpureum* was similar to those of ironwood and palo verde. Mature *Opuntia spp* cladodes and alfalfa hay had LA levels near those of the alfalfa hay and needle bush levels observed here. In contrast, fresh *Opuntia spp* cladodes had LA concentrations much higher than what was observed for the studied native rangeland species.

The importance of these 18-carbon chain fatty acids lays in the fact that they are vital to vaccenic acid (VA) production in ruminants. Vaccenic acid is synthesized through biohydrogenation (BH) of ALA and LA, which produces intermediaries and finally stearic acid (C18:0). For example, during BH, ALA (C18:3 cis-9, cis-12, cis-15) is isomerized first to C18:3 cis-9, trans-11, cis-15, then hydrogenated to C18:2 trans-11, cis-15, and then again to VA (C18:1 trans-11); a portion of the VA escapes

se obtuvieron concentraciones de AGP superiores, en algunos casos más del doble de las especies de huizache, mezquite y vinorama evaluadas. Lo anterior puede deberse a que la fertilización con nitrógeno logra desencadenar una síntesis y acumulación de lípidos y ácidos grasos en la planta, especialmente de AGP, como el C18:3 y C18:2⁽¹²⁾.

Incluido en la clasificación de los AGP se encuentran el ácido alfa linolénico (ALA) y el ácido linoléico (LA), que reciben especial atención debido a su importancia como precursores de ácidos grasos benéficos a la salud en productos de origen rumiante^(9,14, 15,16). Los resultados mostraron que las concentraciones de ALA en los forrajes fueron diferentes de manera significativa ($P < 0.01$). La concentración mayor se obtuvo en palo verde, palo fierro y alfalfa henificada, siendo estos dos últimos similares entre sí, seguido de huizache y mezquite con igualdad estadística, y por último vinorama con una concentración menor. Algunos trabajos realizados muestran que las leguminosas forrajeras como *Medicago sativa*, *Lotus corniculatus*, *Dactylis glomerata* y *Poa pratensis* producidos en praderas con irrigación y fertilización⁽³¹⁾, presentan concentraciones mayores de ALA que las especies del agostadero evaluadas en el presente estudio. Algo similar ocurrió en el caso de AL, que también presentó diferencias significativas ($P < 0.01$), donde la concentración superior fue para huizache y alfalfa henificada con igualdad estadística, seguidos de palo verde, palo fierro y mezquite, siendo vinorama la especie con concentración menor. En relación a las concentraciones de LA en plantas, se han evaluado praderas de *Lolium multiflorum*, *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* y *Trifolium pratense*⁽³¹⁾, observándose que las concentraciones de LA son similares entre las especies de agostadero y las especies de pradera antes mencionadas, excepto en vinorama que fue la planta que presentó la concentración menor en la mayoría de los ácidos grasos determinados, incluyendo LA.

into the rumen and the rest is hydrogenated to C18:0. Linoleic acid (C18:2 cis-9, cis-12) is first isomerized to ruminic acid (RA) (C18:2 cis-9 trans-11) but then hydrogenated to VA, following the same process as with ALA⁽⁹⁾. The VA that escapes BH travels through the small intestine to the mammary gland where it is desaturated by the enzyme Δ^9 -desaturase⁽³⁴⁾. This occurs at a constant rate of 28.9 %, and RA transference to the milk from VA is 21 %⁽³⁵⁾.

Palo verde and honey mesquite exhibited the highest crude protein content in the tested species, while honey mesquite, Baja California Acacia, alfalfa hay and needle bush had the highest crude fiber content. Ash content was highest in the alfalfa hay. Total lipids were highest in needle bush, followed closely by palo verde and honey mesquite. Polyunsaturated fatty acids were highest in palo verde, with slightly lower levels in the alfalfa hay and ironwood. Linoleic acid levels were highest in needle bush and alfalfa hay and lowest in Baja California Acacia. Alpha-linolenic acid concentrations were highest in palo verde, ironwood and alfalfa hay, and lowest in Baja California Acacia.

ACKNOWLEDGEMENTS

The research reported here was partially financed by the project "Composición de la grasa de la leche en diferentes grupos raciales de vacas y cabras manejadas bajo diferentes sistemas de alimentación" (CONACYT, SNI 1), and supported by resources from the project "Cultivos alternativos para zonas áridas y semiáridas". The authors thank Sonia Rocha Meza and Dolores Rondero Astorga for assistance with laboratory work, and Pedro Luna García for assistance during field work. We also like to thank Miguel V. Cordoba-Matson for English editorial assistance.

End of english version

Las concentraciones de ALA encontradas en este estudio contrastan con lo reportado en otros estudios^(32,33), donde establecen que en pastos, las concentraciones de LA se ubican en un rango de 11 a 22 %, que es similar a lo encontrado en las especies de agostadero; sin embargo, reportan valores de 45 a 70 % para ALA, proporciones que se ubican por encima de lo encontrado en el presente estudio.

En el trabajo realizado por Ortega-Pérez *et al*⁽⁵⁾, se observó que la concentración de ALA en cladodios de *Opuntia* spp y de alfalfa henificada, fue similar a la de palo verde del presente estudio. En el caso de LA, las concentraciones de una variedad de *Vigna unguiculata* (G18) son similares a las de mezquite, así como las de *Pennisetum purpureum* a palo fierro y palo verde. También los cladodios maduros de *Opuntia* spp y la alfalfa henificada fueron similares a alfalfa henificada y huizache. Sin embargo, las concentraciones de LA en cladodios tiernos de *Opuntia* spp fueron muy superiores a las encontradas en las especies nativas de agostadero.

La importancia de la presencia de estos ácidos grasos de cadena de 18 carbonos, recae en la producción ruminal de ácido vaccénico (VA), que es sintetizado a partir de la biohidrogenación (BH) del ALA y LA; si bien el producto final de este metabolismo es el ácido esteárico (C18:0), durante el proceso se producen intermediarios, por ejemplo, el ALA (C18:3 cis-9, cis-12, cis-15) es isomerizado en primera instancia a C18:3 cis-9, trans-11, cis-15, posteriormente es hidrogenado a C18:2 trans-11, cis-15, después es nuevamente hidrogenado esta vez a VA (C18:1 trans-11), una porción de este escapa del rumen y el restante es hidrogenado a C18:0. En el caso de LA (C18:2 cis-9, cis-12), lo primero que sucede es una isomerización a ácido ruménico (RA) (C18:2 cis-9 trans-11); sin embargo este es hidrogenado a VA, después de esto, el proceso es el mismo que en el ALA⁽⁹⁾. Martínez *et al*⁽³⁴⁾ señalan que el VA que escapa de la BH pasa a través del intestino

delgado hasta la glándula mamaria, en donde es desaturado mediante la enzima Δ -9 desaturasa. Según Shingfield *et al*⁽³⁵⁾ esto sucede en una tasa constante de 28.9 %; al mismo tiempo determinaron que la transferencia de RA a la leche proveniente de VA representa un 21 %.

Los forrajes palo verde y mezquite presentaron el contenido mayor de proteína cruda. El contenido de fibra cruda fue mayor para mezquite, vinorama, alfalfa henificada y huizache. El contenido de cenizas fue mayor en alfalfa henificada. Huizache presentó la concentración más alta de lípidos totales, seguido de palo verde y mezquite. Palo verde mostró una cantidad mayor de ácidos grasos poliinsaturados, seguido de alfalfa henificada y palo fierro. Huizache y alfalfa henificada presentaron la concentración mayor de ácido linoleico, el contenido menor se encontró en vinorama; este forraje también presentó la menor cantidad de ácido alfa linolénico; la concentración mayor de este último se observó en palo verde, palo fierro y alfalfa henificada.

La concentración de ácidos grasos poliinsaturados fue mayor en alfalfa henificada, huizache, palo fierro y palo verde, seguido de vinorama, que mostró valores superiores a mezquite. Las concentraciones mayores de ácido alfa linolénico se presentaron en palo verde, seguido de palo fierro y alfalfa henificada, huizache y mezquite. La concentración mayor de ácido linoleico se presentó en huizache y alfalfa henificada, seguidos de palo verde, palo fierro y mezquite, siendo vinorama la especie con concentración menor.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se desarrolló con recursos del proyecto "Composición de la grasa de la leche en diferentes grupos raciales de vacas y cabras manejadas bajo diferentes

sistemas de alimentación (CONACYT, SNI 1)". Asimismo, con recursos del proyecto "Cultivos alternativos para zonas áridas y semiáridas". Se agradece al personal técnico M.C. Sonia Rocha Meza, I.B.Q. Dolores Rondero Astorga y Téc. Pedro Luna García por su apoyo en el trabajo de laboratorio y campo, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E, García-Hernández JL, Landa-Hernández L, Larrinaga-Mayoral JA. El frijol yorimón: leguminosa tolerante a sequía y salinidad. La Paz, BCS, México. Editorial Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC; 2000.
- Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E, Nieto-Garibay A, Aguilar-García M. La Paz, BCS, México. El nopal, cultivo forrajero sostenible para el noroeste de México. Editorial Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC; 2002.
- Murillo-Amador B, Nieto-Garibay A, Larrinaga-Mayoral JA. Manual para la producción de frijol yorimón en el Valle del Carrizal, BCS. La Paz, BCS, México. Editorial Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC; 2003.
- Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E, García-Hernández JL. El nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. La Paz, BCS, México. Editorial Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC; 2003.
- Ortega-Pérez R, Murillo-Amador B, Espinoza-Villavicencio JL, Carreon-Palau L, Palacios-Mechetnov E, Palacios-Espinosa A, *et al.* Chemical composition and proportion of precursors of rumenic and vaccenic acids in alternative forages for the feeding of ruminants in arid ecosystems. *Trop Subtrop Agroecosys* 2010;12(1):35-44.
- Bauchart D, Vérité R, Rémond B. Long-chain fatty acid digestion in lactating cows fed fresh grass from spring to autumn. *Can J Anim Sci* 1984;64(1):330-331.
- Cabiddu A, Addis M, Pinna G, Decandia M, Sitzia M, Piredda G, *et al.* Effect of corn and beet pulp based concentrates on sheep milk and cheese fatty acid composition when fed Mediterranean fresh forages with particular reference to conjugated linoleic acid *cis*-9, *trans*-11. *Anim Feed Sci Technol* 2006;131(3-4):292-311.
- Jenkins TC, Wallace RJ, Moate PJ, Mosley EE. Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. *J Anim Sci* 2008;86(2):397-412.
- Harfoot CG, Hazlewood GP. Lipid metabolism in the rumen. In: Hobson PN editor. *The rumen microbial ecosystem*. 1st ed. New York, USA: Elsevier; 1988:285-232.
- McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan, CA. *Nutrición animal*. Zaragoza, España: Editorial Acribia; 2006.
- Ursin VM. Modification of plant lipids for human health: Development of functional land-based omega-3 fatty acids. *J Nutr* 2003;133(12):4271-4274.
- Clapham WM, Foster JG, Neel JPS, Fedders JM. Fatty acid composition of traditional and novel forages. *J Agric Food Chem* 2005;53(26):10068-10073.
- Sinclair AJ, Attar-Bashi NM, Li D. What is the role of alpha-linolenic acid for mammals? *Lipids* 2002;37(12):1113-1123.
- Antongiovanni M, Buccioni A, Secchiari P, Mele M, Petacchi F, Serra A. Upgrading the lipid fraction of foods of animal origin by dietary means: rumen activity and presence of trans fatty acids and CLA in milk and meat. *Ital J Anim Sci* 2003;2(1):3-28.
- Jenkins TC, McGuire MA. Major advances in nutrition: Impact on milk composition. *J Dairy Sci* 2006;89(4):1302-1310.
- Bauman DE, Mather IH, Wall RJ, Lock AL. Major advances associated with the biosynthesis of milk. *J Dairy Sci* 2006;89(4):1235-1243.
- Harvatine KJ, Boisclair YR, Bauman DE. Recent advances in the regulation of milk fat synthesis. *Animal* 2009;3(1):40-54.
- Tanaka K. Occurrence of conjugated linoleic acid in ruminant products and its physiological functions. *Anim Sci Journal* 2005;76(4):291-303.
- AOAC. *Methods of Analysis*. 18th ed. Washington, DC, USA: Association of Official Analytical Chemist. 2005.
- Bligh EG, Dyer WJ. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem Physiol* 1959;1(37):911-917
- Marsh JB, Weinstein DR. Simple charring method for determination of lipids. *J Lipid Res* 1966;7(4):574-576.
- Sato N, Murata N. Membrane lipids. *Method Enzymol* 1988; 167:251-259.
- Christie WW. *Lipid Analysis: Isolation, separation, identification and structural analysis of lipids*. Bridgater, England. 2003.
- McLafferty FW, Turecek F. *Interpretation of mass spectra*. 4th Ed. Sausalito, CA, USA: University Sciences Books; 1993.
- Guerrero M, Juárez AS, Ramírez RG, Montoya R, Murillo M, La OO, Cerrillo MA. Composición química y degradabilidad de la proteína de forrajes nativos de la región semiárida del norte de México. *Rev Cubana Cienc Agric* 2010;44:147-154.
- Corral-Luna A, Domínguez-Díaz D, Rodríguez-Almeida FA, Villalobos-Villalobos G, Ortega-Gutiérrez JA, Muro-Reyes A. Composición química y cinética de degradabilidad de ensilaje de maíz convencional y sorgo de nevadura café. *Rev Bras Cienc Agrár* 2011;6:181-187.
- Torres G, Arbaiza T, Carcelén F, Lucas O. Comparación de las técnicas *in situ*, *in vitro* y enzimática (celulasa) para estimar la digestibilidad de forrajes en ovinos. *Rev Inv Vet Perú* 2009;20:5-9.
- García DE, Wencomo HB, González ME, Medina MG, Cova LJ, Spengler I. Evaluación de diecinueve accesiones de *Leucaena leucophala* basada en la calidad nutritiva del forraje. *Zootecnia Trop* 2008;26:9-18.
- García DE, Median MG, Cova LJ, Humbria, Torres A, Moratino P. Preferencia caprina por especies forrajeras con amplia distribución en el Estado de Trujillo, Venezuela. *Arch Zootec* 2008;57:403-413.
- Moreno-Álvarez MJ, García-Pantaleón D, Belén-Camacho D, Medina-Martínez C, Muñoz-Ojeda N. Análisis bromatológico de la tuna *Opuntia elatior* Miller (Cactaceae). *Rev Fac Agron* 2008;25:68-80.

31. Boufaïed H, Chouinard PY, Tremblay GF, Petit HV, Michaud R, Bélanger G. Fatty acids in forages. 1. Factors affecting concentrations. *Can J Anim Sci* 2003;83:501-511.
32. Mir PS, Bittman S, Hunt D, Entz T, Yip B. Lipid content and fatty acid composition of grasses sampled on different dates through the early part of the growing season. *Can J Anim Sci* 2006;86:279-290.
33. Dewhurst RJ, Scollan ND, Youell SJ, Tweed JKS, Humphreys MO. Influence of species, cutting date and cutting interval on the fatty acid composition of grasses. *Grass Forage Sci* 2001;56:68-74.
34. Martínez A, Hernández M, Pérez L, Gómez G. Lipid metabolism in ruminants. *REDVET*. 2010;11:1-21.
35. Shingfield KJ, Ahvenjarvi S, Toivonen V, Vanhatalo A, Huhtanen P. Transfer of absorbed cis-9,trans-11 conjugated linoleic acid into milk is biologically more efficient than endogenous synthesis from absorbed vaccenic acid in lactating cows. *J Nutr* 2007;137:1154-1160.