

The logo for CienciaUAT, featuring the text "CienciaUAT" in a bold, orange, sans-serif font. The "U" is slightly larger and more prominent than the other letters.

CienciaUAT

ISSN: 2007-7521

ISSN: 2007-7858

Universidad Autónoma de Tamaulipas

Zapata-Campos, Cecilia Carmela; Mellado-Bosque, Miguel Ángel
La cabra: selección y hábitos de consumo de plantas nativas en agostadero árido
CienciaUAT, vol. 15, núm. 2, 2021, Enero-Junio, pp. 169-185
Universidad Autónoma de Tamaulipas

DOI: <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v15i2.1409>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=441970373011>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEH The logo for redalyc.org, featuring the text "redalyc.org" in a red, sans-serif font. The "red" is in a lighter shade of red than "alyc.org".

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto



Imagen de: Cecilia C. Zapata Campos

La cabra: selección y hábitos de consumo de plantas nativas en agostadero árido

The goat: selection and intake habits of native plants in arid range

Cecilia Carmela Zapata-Campos^{1*}, Miguel Ángel Mellado-Bosque²

RESUMEN

Las cabras habitan regiones áridas como resultado de su adaptación a condiciones extremas. La selección de la dieta es una de las estrategias conductuales que les han permitido evitar deficiencias nutricionales o intoxicaciones aun en condiciones de baja disponibilidad de alimento. Así mismo, el ramoneo, como conducta ingestiva de la especie, les permite seleccionar y obtener plantas con adecuados valores de proteína cruda que favorezcan su desarrollo y supervivencia. También, las cabras se adaptan a las características químicas de las plantas, las cuales desarrollan compuestos bioactivos para evitar ser consumidas. Estos metabolitos secundarios pueden tener efectos antinutricionales y tóxicos así como medicinales o curativos, dependiendo del consumo que tenga el animal. El objetivo de este trabajo fue revisar la selección y hábitos de las cabras en el consumo de plantas nativas, para determinar cómo favorecen la supervivencia y productividad de la especie, bajo las condiciones de adversidad ambiental que caracterizan a las regiones áridas. Dicho conocimiento permitirá establecer estrategias para el manejo adecuado del agostadero y conocer el efecto que los compuestos del metabolismo secundario de las plantas puedan tener en los procesos reproductivos, nutricionales, sanitarios, así como en los productos derivados de la leche o carne de estos animales.

PALABRAS CLAVE: conducta alimenticia, dieta, componentes nutricionales, consumo, metabolitos secundarios.

ABSTRACT

Goats dwell arid regions as a result of their adaptation to extreme conditions. Diet selection is one of the behavioral strategies that has allowed them to avoid nutritional deficiencies or poisonings, even under conditions of low food availability. Likewise, browsing as an ingestive behavior of the species allows them to select and obtain plants with adequate crude protein values, which favor their development and survival. Also, goats adapt to the chemical characteristics of plants, which develop bioactive compounds to avoid being consumed. These secondary metabolites can have antinutritional and toxic effects, as well as medicinal or curative effects, depending on the consumption that the animal has. The objective of this work was to review the selection and habits of goats in the consumption of native plants, to determine how they favor the survival and productivity of the species under the conditions of environmental adversity that characterize arid regions. This knowledge will allow to establish strategies for the proper management of the rangeland and to know the effect that the compounds of the secondary metabolism of the plants may have on the reproductive, nutritional, and health processes, as well as on the products derived from the milk or meat of these animals.

KEYWORDS: nutritional behavior, diet, nutritional components, intake, secondary metabolites.

*Correspondencia: cezapata@uat.edu.mx/Fecha de recepción: 3 de diciembre de 2019/Fecha de aceptación: 16 de septiembre de 2020/Fecha de publicación: 30 de enero de 2021.

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, carretera Victoria-Mante km 5 s/n, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87274. ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Nutrición Animal, Saltillo, Coahuila, México.

INTRODUCCIÓN

La cabra fue uno de los primeros animales en ser domesticados, comenzando este proceso con el bezoar (*Capra aegagrus*). Existe evidencia de su presencia en Ganj Dareh (Irán) desde el año 10 000 a. C. (Zeder y Hesse, 2000; Rosa-García y col., 2012). La carne y leche producidas por esta especie han sido aprovechadas por el hombre del Medio Oriente al menos desde el año 2 500 a. C., habiéndose encontrado pruebas de su domesticación en el Valle Indo, en China, y probablemente en Mesoamérica (Boyazoglu y col., 2005). De la población caprina existente en el mundo, el 88 % se encuentra localizada en zonas de Asia y África, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization) (FAO, 2020). En las zonas áridas las cabras son la especie animal más abundante (Devendra, 2010). El 47 % de la superficie de la tierra corresponde a zonas áridas, donde habitan 2 000 millones de personas, la mayoría en condiciones de pobreza (FAO, 2007). En estos ambientes los sitios de toma de agua son escasos y distantes entre ellos, y la disponibilidad de alimento es escasa y de baja calidad nutricional, por lo que la cabra tiene que desplazarse largas distancias para satisfacer sus necesidades de alimento (Zobel y col., 2019).

Los caprinos, al ser una de las especies mejor adaptadas a la desertificación de las regiones áridas, son una de las principales fuentes de proteína para el hombre que habita en esos climas. En estas regiones los recursos vegetales son heterogéneos y restringidos en calidad y cantidad (Silanikove, 2000a). Por ello, la cabra ha desarrollado diversos mecanismos adaptativos, tales como capacidad de caminar distancias largas, requerimientos metabólicos bajos y reducida masa corporal. A nivel nutricional presentan adaptaciones, como la capacidad de seleccionar las plantas más nutritivas entre las diversas opciones disponibles, maximizando la ingesta de nutrientes y minimizando la ingesta de metabolitos secundarios, mediante el rechazo de plantas

menos nutritivas. De esta manera disminuyen el riesgo de intoxicación, y en algunos casos obtienen beneficios nutricionales y/o medicinales, con las plantas que seleccionan para su consumo (Egea y col., 2016). El conocimiento de estas adaptaciones nutricionales y de comportamiento, así como las características de las diferentes plantas elegidas en función de la condición climática o del estado fisiológico del animal permitirá desarrollar futuras investigaciones para el manejo sostenible de las zonas de pastoreo. Así también, conocer los efectos del tipo y la cantidad de material vegetal consumido, en la producción, bienestar y estado de salud de las cabras.

El objetivo de este trabajo fue revisar los hábitos de selección y consumo de plantas nativas por parte de las cabras, con la finalidad de ofrecer una visión actual de cómo estas adaptaciones favorecen la supervivencia y productividad de la especie bajo las condiciones de adversidad ambiental, característica de los territorios áridos.

Adaptación y conducta alimenticia en caprinos

Se ha demostrado, en distintos ambientes y países, que las cabras criollas tienen un mejor rendimiento que otros rumiantes, debido a su capacidad de termorregulación y adaptación al consumo de plantas ricas en lignina, así como el hecho de que pueden limitarse en el consumo de agua y alimento (Silanikove, 2000b; Koluman-Darcan y Silanikove, 2018). La abundancia de cabras en las regiones áridas es resultado de una adecuada adaptación a estas condiciones extremas (Silanikove, 2000a). Particularmente, en la cabra, el proceso de adaptación está catalogado en seis aspectos: anatómico, morfológico, fisiológico, conducta alimenticia, metabolismo y rendimiento (Silanikove y Koluman-Darcan, 2015).

En el aspecto de adaptación anatómica, Silanikove (2000b) mencionó que la disminución del tamaño corporal en los animales se debe a tres condiciones: la selección natural, la selección social y la endogamia. En este caso, la

selección natural es el factor individual más importante, ya que en condiciones de aridez los individuos de talla pequeña son los mejor adaptados, en comparación con tallas mayores del rebaño. La presión de selección, relacionada con tasas de supervivencia y reproducción ligeramente mayores en animales de talla pequeña, ha promovido una modificación gradual en cuanto a la talla de la población, favoreciendo a los individuos pequeños (Silanikove y Koluman-Darcán, 2015). Otros autores argumentaron que la reducción en la dimensión corporal puede relacionarse con el tipo de alimento y la productividad de las plantas primarias (Calder, 1984; Hetem y col., 2011).

Con respecto a la adaptación anatomo-fisiológica, la cabra presenta glándulas salivales más grandes, mayor área de superficie de la mucosa absorbente y capacidad para aumentar sustancialmente el volumen del intestino delgado cuando se nutre con alimentos con alto contenido de fibra (Silanikove, 2000b). Al reducir su metabolismo y rendimiento, como medida adaptativa, la cabra minimiza sus requerimientos nutricionales y sus necesidades de agua en las zonas áridas. La capacidad de reducir el metabolismo le permite sobrevivir incluso después de periodos prolongados de disponibilidad limitada de alimentos (Goetsch, 2019).

En cuanto a la conducta alimenticia, esta actividad comienza antes del consumo de alimento y se caracteriza por presentar dos fases: inicial y apetitiva. La fase inicial es cuando los animales deciden buscar comida, lo cual podría ser por un deseo general para adquirir energía o un deseo específico por una comida en particular. Esta fase incluye un cambio en la conducta, pasando de una actitud de reposo, al acto de abastecerse obteniendo alimento, decisión basada en la recompensa esperada por alimentarse (Ginane y col., 2015). La segunda fase es la apetitiva, en donde el animal recibe información de uno o varios alimentos, y con base en su percepción sensorial (visión, olfato y gusto) tiene la oportunidad de elegir (Ginane y col., 2011). Así, tanto el estímulo preingestivo como el grado de gus-

to refuerzan su motivación por el consumo de cada alimento o, por el contrario, reducen la probabilidad de consumirlo (Provenza, 1995).

Cuando el animal está motivado para comer asume que la comida está disponible, por lo que comienza un estímulo de preingestión, lo que refuerza su deseo de comer, iniciando entonces los procesos de ingestión, masticación, deglución, digestión y absorción (Ginane y col., 2015). En función de la digestibilidad de los alimentos las cabras son capaces de discriminar entre ellos, cambiando su consumo y favoreciendo la especie o parte de la planta que sea más nutritiva, en un momento dado (Ackermans y col., 2019). Esta habilidad puede deberse a diversos mecanismos anatómicos y fisiológicos, tales como la capacidad de pararse en dos patas (para ramonear), hiposondancia para detectar abrasividad (anatomía bucal), presencia de proteínas salivares unidas a taninos (proteínas ricas en prolina), flora del tracto digestivo adaptada a plantas taniníferas y capacidad de reciclar urea en el rumen (Torres-Fajardo y col., 2019). Además, poseen una glándula parótida larga que produce suficiente saliva para ayudar como buffer a la rápida digestión de la dieta y así facilitar el pasaje del alimento al rumen (Robbins y col., 1995).

El amplio volumen ruminal de las cabras (9-18 L) es una adaptación importante al servir como una gran cámara de fermentación y depósito de agua. El agua almacenada en el rumen se utiliza durante la deshidratación, y el rumen sirve como un recipiente que acomoda el agua ingerida después de la rehidratación. Esta situación es provocada por recorrer grandes distancias para pastorear o ramonear en los ambientes con disponibilidad limitada de alimento o agua (Silanikove y Koluman-Darcán, 2015). Todas estas cualidades permiten a la cabra digerir de manera efectiva los alimentos (Silanikove, 2000a; Alonso-Díaz y col., 2012; Mellado, 2016; Ventura-Cordero y col., 2017; Schmitt y col., 2020).

Por otra parte, la selección de la dieta es una adaptación conductual que puede modificarse

por periodos cortos o largos. Dicha modificación puede verse influenciada por aspectos como la experiencia previa en el consumo de algún material específico, y a su vez, está relacionada con cambios neurales o fisiológicos a nivel celular, los cuales se denominan en conjunto “conducta adaptativa” (Ginane y col., 2015). Particularmente, la conducta adaptativa alimenticia se observa cuando el animal intenta cumplir con sus requerimientos metabólicos y mantener la homeostasis (Berridge, 1996). La conducta alimenticia es un importante aspecto de la producción animal y constituye el vínculo entre la comida y el consumo. Esta conducta alimenticia considera diferentes aspectos, incluyendo el encontrar y escoger la comida, el ganar y mantener el acceso a la misma, así como la cantidad de ingesta en cualquier momento y la rapidez de la digestión (Nielsen y col., 2016).

De acuerdo con Silanikove (2000a), la cabra se encuentra clasificada como consumidor intermedio; sin embargo, de acuerdo a la disponibilidad y tipo de alimento en el agostadero, las cabras se pueden ubicar tanto en el grupo de consumidores de concentrados (si en el agostadero hay alta disponibilidad de arbustivas) como en el de consumidores de forrajes (si la disponibilidad de pastos es alta) (Osoro y col., 2013). Con las modificaciones en la disponibilidad de materiales se modifica el tipo de microorganismos ruminales, así como la conformación de las papilas de este órgano. Dicha característica también les permiten consumir rebrotes y pastos a la vez. Su ritmo de alimentación es intermedio en los dos grupos mencionados anteriormente (van Soest, 1994; Bojkovski y col., 2014). Esta capacidad faculta a la cabra a soportar mayor cantidad de leguminosas en su dieta, comparada con los ovinos y bovinos, ya que no tiene una tasa de fermentación tan elevada (Silanikove, 2000a).

Características del agostadero y su influencia en el consumo y selección de plantas en las cabras

El 25 % de la superficie de tierra en el mun-

do es utilizada para la producción ganadera en extensivo, de la cual una cuarta parte está principalmente poblada por arbustos (Estell y col., 2010). Los agostaderos son territorios donde predomina la vegetación autóctona de la zona agroecológica específica; parte de dicha vegetación posee potencial para su utilización en la alimentación animal, además de ser consumida por especies silvestres (Reid y col., 2014). Otra característica importante de los agostaderos es que la vegetación es muy heterogénea, con una distribución multiestratificada, y se encuentra sujeta a variaciones de calidad (proteína cruda, energía, fibra) y cantidad de forraje (disponibilidad), dependientes de la época del año y del uso de los recursos (Torres-Acosta y col., 2008).

La principal estrategia alimenticia utilizada por las cabras en las regiones áridas y semiáridas es el ramoneo de plantas y arbustos, principalmente relacionada con la obtención de proteína (Gutteridge y Shelton, 1994; Mkhize y col., 2014). Por lo tanto, la conducta de consumo y selección de forraje está influenciada por la cantidad, calidad, accesibilidad, dispersión de los recursos alimenticios y por las características individuales del animal (edad, sexo, estatus reproductivo y condición corporal) (Heuermann y col., 2011).

El contenido de PC (proteína cruda), humedad y extracto libre de nitrógeno de árboles y arbustos varía de acuerdo con la época del año en las zonas áridas y semiáridas, lo cual está asociado principalmente con la distribución de la precipitación pluvial (Chimphango y col., 2020; McIntosh y col., 2019). Así, en la región semiárida del noreste de México, los frutos y hojas de las familias *Mimosaceae*, *Ebanaceae*, *Olaceae*, *Borraginaceae*, *Rutaceae* y *Caesalpiniaceae* presentan mayor porcentaje de preferencia de las cabras (78 %) y mayor contenido de celulosa (12 % a 22 %) y PC (18 % a 24 %) en verano y otoño. En el verano, las herbáceas tienen la segunda importancia en la selección (12 % a 18 % de preferencia), de estas, las que más consumen las cabras son *Clematis drummondii*, *Malva parviflora* y *Euphorbia maculate*. En ter-

cer lugar de preferencia (6 % a 10 %) se encuentran las gramíneas establecidas, como *Panicum hallii*, *Setaria macrostachya*, *Cenchrus ciliaris*, las cuales son más consumidas en primavera y otoño (Foroughbakhch y col., 2013).

Foroughbakhch y col. (2013), encontraron que las plantas con mayor contenido de PC durante todo el año fueron *Acacia berlandieri* (21.9 %), *Celtis pallida* (20.6 %), *Prosopis laevigata* (20.0 %) y *Acacia wrightii* (20.2 %). En tanto que *Bernardia myricaefolia*, *Lantana macropoda* y *Mimosa biuncifera* tuvieron menor contenido de PC de 11.6 %, 13.9 % y 14.3 %, respectivamente.

En la región árida del norte de México, Mellado y col. (2008) encontraron que la planta nativa *Sphaeralcea angustifolia* es un forraje palatable y nutritivo, con una composición química semejante a la alfalfa (*Medicago sativa*);

es decir, contiene 170 g de PC por kilogramo y 8.2 MJ/kg de energía metabolizable (EM). Por su parte, Olivares-Pérez y col. (2013) evaluaron tres especies de arbustos forrajeros (*Phytocellobium dulce*, *Gliricidia sepium* y *Haematoxylum brasiletto*) consumidas por las cabras, y reportaron que las dos primeras tienen niveles de PC de 149.6 g/kg y 103.9 g/kg, respectivamente, valores suficientes para promover una microflora ruminal óptima en cabras. Algunos árboles del género *Prosopis* spp, *Acacia* spp y *Leucaena* spp, también han sido considerados fuentes alternativas de alimento para cabras, ya que sus hojas y frutos presentan niveles de PC considerables (10 % a 33 %) (Sawal y col., 2004; Ayala-Burgos y col., 2006; Quiroz-Cardoso y col., 2015; Habib y col., 2016; Carvalho y col., 2017; Santos y col., 2017). En la Tabla 1 se presenta información nutricional de otras plantas localizadas en el agostadero pastoreado por caprinos.

■ **Tabla 1. Características bromatológicas (MS %) de diversas plantas consumidas por las cabras.**
Table 1. Bromatological characteristics (DM %) of various plants consumed by goats.

Especie	EE	PC	FDN	FDA	Referencia
<i>Opuntia ficus</i> var. copena	-	6.9	45.9	28.7	(Cordova-Torres y col., 2015)
<i>Haloxylan schmittianum</i>	2.2	9.67	42.9	27.8	(Mayouf y Arbouche, 2015)
<i>Anabasi articulata</i>	3.2	17.3	46.1	25.8	
<i>Astragalus armatus</i>	2	12.6	49.1	32.8	
<i>Tricomaria usillo</i>	-	9	55	37	(Egea y col., 2016)
<i>Mimosa ephedroides</i>	-	10	52	39	
<i>Atriplex lampa</i>	-	11	27	17	
<i>Prosopis flexuosa</i>	-	12	58	47	
<i>Capparis atamisquea</i>	-	14	51	30	
<i>Lablab purpureus</i>	2.37	17.73	46.51	33.65	(Washaya y col., 2018)
<i>Vigna unguiculata</i>	2.03	19.10	37.58	30.4	
<i>Cereus jamacaru</i>	2.1	5.4	44.7	38.9	(Catunda y col., 2016)
<i>Nopalea cochenillifera</i>	1.8	7.9	35.0	39.4	
<i>Opuntia stricta</i>	2.0	4.9	39.4	12.2	
<i>Mimosa caesapiniifolia</i>	2.3	13.0	51.3	32.4	
<i>Acacia erioloba</i>	-	15.0	54.2	41.3	(Mnisi y Mlambo, 2016)
<i>Acacia nilotica</i>	-	12.7	42.2	37.9	
<i>Zizipus mucronata</i>	-	17.7	50.6	18.9	

MS = materia seca; EE = extracto etéreo; PC = proteína cruda; FDN = fibra detergente neutra; FDA = fibra detergente ácida.

Selectividad de plantas según sexo y estado fisiológico de las cabras

En cuanto a la relación entre conducta selectiva y el sexo del animal, se ha reportado que las hembras son más selectivas y usan más su tiempo en el forrajeo, lo cual se debe a que su eficiencia en la digestión de los alimentos es menor que la de los machos (Manousidis y col., 2016). En el caso de los machos, presentan una conducta de mayor masticación que la hembra en todo el año, lo que facilita la extracción de nutrientes del alimento por maceración; sin embargo, esta se reduce en la época de apareamiento, mientras que las hembras solo la aumentan en la etapa fisiológica de lactancia (Ferretti y col., 2014), para lograr una utilización más eficiente de los alimentos, por parte de los microorganismos ruminales y obtener la mayor cantidad de energía posible de la dieta (Church y col., 2002), ya que tienen mayores requerimientos energéticos para la producción de leche (Moquin y col., 2010).

En las cabras lactantes se ha observado que su dieta está compuesta por niveles altos de hierbas y bajas cantidades de arbustos (Cardozo-Herrán y col., 2019). Los pastos son poco consumidos por ellas, probablemente porque tienen una pared celular más gruesa y fibrosa, lo cual podría causar un mayor gasto energético para el desdoblamiento y digestión, que las hojas frágiles del ramoneo y las hierbas (Hunt y col., 2008). Cabe mencionar que la conducta alimenticia puede ser transmitida de madre a cría en las etapas pre y postnatal (Smotherman y Robinson, 1987). El feto puede experimentar sabores en el útero (Mennella y col., 1995) que son transmitidos por la sangre de la madre al líquido amniótico (Hai y col., 2014). Se ha observado que el feto ingiere cantidades significativas de líquido amniótico durante las últimas etapas de la gestación, y el tener las vías aéreas abiertas provoca que se impregnen en el líquido amniótico. Los receptores olfativos fetales pueden ser estimulados por los olores difundidos desde los capilares sanguíneos, después de cruzar la barrera placentaria (Nolte

y col., 1992; Mennella y col., 1995). Es así que, la madre transmite la experiencia de la selección de plantas nutritivas y no tóxicas (Hai y col., 2014), y esta enseñanza no se le da a la cría a través de la lactancia, como sucede en otras especies (Nolte y col., 1992). Este mecanismo evita que la cría presente neofobia, que es la resistencia a comer y/o probar nuevos alimentos (Pliner y Hobden, 1992), principal factor que afecta el consumo de plantas en herbívoros sin experiencia (Provenza, 1995).

Por otro lado, Mellado y col. (2011) encontraron que las cabras gestantes seleccionaron plantas con alto contenido de PC, en comparación con cabras no gestantes. Otro estudio también reportó que durante la época de sequía, las cabras gestantes seleccionan forrajes con altos niveles de calcio (Ca) y son más selectivas de plantas con mayor valor nutricional, para lograr satisfacer sus requerimientos (Villalba y col., 2002).

De acuerdo a los estudios reportados, el estado reproductivo de las cabras no solo afecta la tasa de masticación de las mismas, para aprovechar mejor los alimentos y obtener mayor energía, sino también la selectividad en el consumo de plantas o arbustos.

Modificaciones adaptativas de las cabras para el consumo de metabolitos presentes en las arbustivas nativas

Las plantas utilizan estrategias para evitar su consumo por parte de los herbívoros; entre estos mecanismos se encuentran, endurecimiento de la pared exterior, presencia de espinas y síntesis de sustancias químicas (Alonso-Díaz y col., 2012; Sebata y Ndlovu, 2012; Cuchillo y col., 2013; Hernández-Orduño y col., 2015; Pech-Cervantes y col., 2016). En las plantas existe un metabolismo primario, esencial para el crecimiento y desarrollo, asociado a un metabolismo secundario, formado por un conjunto de vías metabólicas que generan compuestos químicos que son diversos, entre y dentro de las poblaciones vegetales. Estos compuestos químicos o metabolitos secundarios tienen en las plantas funciones tan diver-

sas, como la atracción de polinizadores y dispersores de semillas, protección de la radiación ultravioleta, defensa contra del estrés oxidativo, enfermedades, patógenos y depredadores herbívoros (Speed y col., 2015; Isah, 2019). Las cabras pueden verse afectadas por estos metabolitos, al igual que otros herbívoros (Villalba y col., 2016), sin embargo, se han adaptado total o parcialmente a su efecto antinutricional y tóxico, para poder aprovechar los nutrientes de las plantas (Mkhize y col., 2014). Los compuestos químicos surgidos de este metabolismo secundario, mayormente estudiados son terpenoides, alcaloides y compuestos fenólicos (Makkar, 2006; Cuchillo y col., 2013; Vadlamani y col., 2016).

Los terpenoides son derivados de repetidas fusiones de la cadena de carbono 5 de isopentano (Croteau y col., 2000); ejemplo de terpenos son los esteroides, carotenoides y ácido giberélico (Wink, 2015). Por su parte, los alcaloides son biosintetizados a partir de aminoácidos como la tirosina, y se caracterizan por una amplia diversidad estructural; no existe una clasificación uniforme de ellos, habiéndose clasificado recientemente con base en su esqueleto de carbono (Wink, 2015). Los fenoles pertenecen a un grupo más amplio de metabolitos secundarios. Un grupo importante de fenoles son los polifenoles, los cuales se clasifican en diferentes grupos en función al número de anillos de fenol y la unión de estos con otros anillos. Como ejemplo de compuestos fenólicos se puede mencionar a los flavonoides (Škerget y col., 2005), los cuales a su vez se subdividen en flavonol, flavonas, isoflavonas, flavononas, antocianinas, antocianidinas y flavonoles (catequina y proantocianidinas) (Manach y col., 2004). Otro grupo importante de compuestos fenólicos son los taninos, específicamente los taninos condensados (TC) e hidrolizados (TH). Los primeros son referidos como proantocianidinas (Min y col., 2015), mientras que los TH contienen ésteres de ácido gálico o ácido elágico (Olivas-Aguirre y col., 2015).

La ingesta de metabolitos secundarios puede generar beneficios. Dentro del grupo de feno-

les, los TC son eficaces para el control de los parásitos en el abomaso e intestino delgado en ovinos y caprinos, así como para estimular la inmunidad innata, lo cual se debe a su capacidad de unirse a proteínas (Hoste y col., 2015; Worku y col., 2016). Adicionalmente, los taninos en caprinos han mostrado incrementar hasta un 43 % la producción de leche, así como mejorar su ganancia diaria de peso mediante el consumo de plantas (*Lotus corniculatus*) con TC a libre acceso (Waghorn, 2008). Con relación al aspecto sanitario, los rumiantes, incluidas las cabras, que consumen leguminosas (*Lotus corniculatus*, *Hedysarum coronarium*, *Lotus pedunculatus*) con TC reducen su producción de gas ruminal mediante la precipitación de la espuma de las proteínas de las plantas; de esta manera previenen la aparición de timpanismo (Ramírez-Restrepo y Barry, 2005). Los TC precipitan las proteínas de la ingesta, con lo cual incrementan su paso por el intestino delgado para ser absorbidos, protegen la fracción 1 de la proteína, aumentan la absorción de los aminoácidos esenciales y disminuyen la de los no esenciales (Durmic y Blache, 2012; Mueller-Harvey y col., 2019). Estos efectos benéficos de los TC se presentan cuando la dieta contiene entre 2 % y 4 % de la materia seca (MS); arriba de este porcentaje se manifiesta su efecto antinutricional (Durmic y Blache, 2012; van-Cleef y Dubeux, 2020). La unión a proteínas cuando hay un efecto antinutricional, principalmente se lleva a cabo en el rumen, con pH entre 5.5 a 7.2, haciendo indigestibles las proteínas para la microflora ruminal. Las proteínas por lo general son solubles en el abomaso e intestino delgado con pH de < 3.5 y > 8, respectivamente (Hervás y col., 2003; Andrabi y col., 2005; Min y col., 2015). Así también, se unen a enzimas como celulasa, ureasa, alfa-amilasa, proteasa y beta-glucosilasa, lo que les permite disminuir la actividad celulolítica, con lo que reducen la digestibilidad de la materia orgánica. De igual manera, se ligan a membranas y a la pared celular de hongos y bacterias, aminorando así la fermentación ruminal (Márquez-Lara y Suárez-Londoño, 2008).

En la Tabla 2 se muestran diversas plantas que consumen las cabras, su contenido en compuestos bioactivos y su efecto en estos animales. En la Tabla 3, se muestran plantas con compuestos bioactivos y su efecto biológico en general para rumiantes.

El consumo de estos metabolitos tiene entonces dos objetivos: por un lado, un efecto antinutricional y tóxico, por el otro, un efecto medicinal o curativo (Villalba y col., 2016). Así

que, cuando la intensidad de los efectos medicinales de los componentes secundarios de las plantas es más fuerte, que la de los efectos negativos en el estado de salud/productividad, la auto selección del herbívoro al metabolito es esperada. Esta auto selección deberá, en primera instancia devolver la salud a los animales enfermos (Estell y col., 2010).

La cabra ha desarrollado mecanismos conductuales y fisiológicos que le permiten consumir

■ **Tabla 2. Compuestos bioactivos identificados en plantas de regiones áridas consumidas por cabras y su efecto en estos animales.**

Table 2. Bioactive compounds identified in arid regions in plants consumed by goats and their effect on these animals.

Espece	Compuesto bioactivo	Acción	Referencia
<i>Acacia salicina</i> <i>Acacia nilotica</i> <i>Eucalyptus corymbia</i> <i>Casuarina cunninghamiana</i> <i>Eucalyptus drepanophylla</i> <i>Lysiloma latisiliquum</i> <i>Mimosa caesalpinmifolia</i> <i>Persea americana</i> <i>Agave sisalana</i> <i>Hedera helix</i>	Taninos hidrolizables, condensados, saponinas, alcaloides, flavonoides	Antihelmíntico	(Brito y col., 2018) (Brunet y col., 2008) (Domingues y col., 2010) (Egual y col., 2007) (Moreno y col., 2012) (Soldera-Silva y col., 2018)
<i>Woodfordia fruticosa</i> <i>Solanum nigrum</i> <i>Trigonella foenum-graecum</i>	Taninos hidrolizables, glucoalcaloides, flavonoides, saponinas	Actividad antioxidante	(Choubey y col., 2016)
<i>Moringa oleifera</i>	Taninos condensados	Consumo alimenticio, fermentación ruminal	(Kholif y col., 2018)
<i>Acacia farnesiana</i>	Polifenoles (gálico, catequina, epicatequina, quercetina, ácido ferúlico)	Efecto antioxidante, disminución del colesterol en leche de cabras	(Delgadillo-Puga y col., 2019)
<i>Sericea lespedeza</i> <i>Corteza de pino</i>	Taninos condensados	Efecto en la fermentación ruminal	(Min y col., 2015)
<i>Clerodendrum inerme</i> <i>Gymnema sylvestre</i> <i>Sapindus laurifolia</i> <i>Yuca schidigena</i>	Taninos Saponinas	Reducción de emisión de metano	(Jafari y col., 2019)

■ **Tabla 3. Plantas con compuestos bioactivos y sus efectos reportados en rumiantes.**
 Table 3. Plants with bioactive compounds and their reported effects in ruminants.

Especie	Compuesto bioactivo	Acción	Efecto
<i>Medicago sativa</i> L.	Flavonoides e isoflavonoides (quercetin, apigenina, daidzein, luteolin)	Fitoestrógenos Infertilidad temporal o permanente	Nutricional/ tóxico
<i>Origanum vulgare</i> L.	Ácido hidroxinámico (ácido cafeico)	Hepatoprotector	Curativo
<i>Trifolium pratense</i> L. <i>Amaranthus hybridus</i>	Flavonoides (miricetina, quercetina, kaempferol) Glicósido (rutina) Flavones (apigenina)	Antioxidante Antibacterial	Curativo
<i>Biserrula pelecinus</i> L. <i>Ruta graveolens</i> L. <i>Psoralea cinerrea</i> L.	Furanocumarinas (psoroleno)	Fotosensibilización por contacto	Tóxico
<i>Equisetum palustre</i> L. <i>Equisetum arvense</i> L.	Piperidinas	Pérdida de apetito Diarrea Desórdenes neurológicos	Tóxico
<i>Thymus vulgaris</i> L. <i>Salvia verticillata</i> L. <i>Imula salsoloides</i> L.	Terpenoides	Antioxidantes Antibacterial	Curativo
<i>Lolium perenne</i> L.	Carotenoides	Antioxidante	Curativo
<i>Oxytropis sericea</i> Nutt. <i>Astragalus lentigenosus</i> Dougl. <i>Sida carpinifolia</i> <i>Ipomea cornea</i>	Alcaloides	Locoísmo	Tóxico
<i>Achillea millefolium</i> L.	Ácido hidroxinámico (ácido rosmarinico)	Inhibidor de la acetilcolinesterasa Antioxidante	Curativo

Tabla modificada a partir de Poutaraud y col. (2017).

del agostadero arbustos (generalmente leguminosas) ricos en compuestos del metabolismo secundario. Schmitt y col. (2020) sugieren que en animales ramoneadores, como la cabra, la presencia de proteínas ligadas a taninos hace posible el consumo de plantas taniníferas, estas proteínas inactivan dichos compuestos. Las proteínas salivales vinculantes de taninos (PSVT) se consideran el primer mecanis-

mo que puede inactivar los metabolitos secundarios (taninos) (McArthur y col., 1991; Silanikove y col., 1996). Ntuthuko y col. (2018) comprobaron que el comportamiento de búsqueda de alimento de las cabras en libertad les permite regular las tasas de ingesta de TC en la sabana africana; observaron que las cabras prefieren pastar más que ramonear, como mecanismo de control de consumo de TC.

Distel y Provenza (1991) encontraron que la experiencia temprana en el consumo de compuestos secundarios ayuda posteriormente a definir la preferencia de plantas que los contengan sobre plantas libres de estos, incrementando el consumo de TC y taninos totales.

Torres-Fajardo y col. (2019) analizaron el papel de la infección con nemátodos gastrointestinales y la neutralización de TC, como dos factores que influyen en la conducta alimenticia en cabras criollas de hábitats de vegetación heterogénea, y concluyeron que estos dos factores no afectan la ingesta o selección de alimento. Al contrario, la selección y consumo de plantas nativas taniníferas actúan como mecanismo de afrontamiento, desarrollado por las cabras para contrarrestar los efectos negativos de parásitos como de metabolitos secundarios (Tablas 2 y 3).

Las características de afrontamiento que ha desarrollado la cabra, la convierten en modelo para el estudio de efectos tóxicos de distintas plantas. Welch y col. (2020) indicaron que cuando los animales son envenenados con toxinas vegetales extremadamente potentes, como la cicuta de agua (*Cicuta douglasii*), a menudo se encuentran muertos con pistas mínimas de la causa de su fallecimiento. Por ello, se han realizado investigaciones para ayudar en el diagnóstico de animales envenenados, mediante el análisis químico del contenido del rumen, además de otras muestras biológicas, como suero, saliva, cerumen, pelo y mucosidad nasal (Davis y col., 2014, Stonecipher y col., 2019, Lee y col., 2020). Las cabras pueden ser un buen modelo para otras especies de ganado rumiante, ya que se ha demostrado que los caprinos son más resistentes a algunas plantas venenosas (Welch y col., 2016). Por lo tanto, una dosis tóxica letal de cicuta de agua puede ser menor en especies como el bovino en comparación con lo que se informa para el caso de las cabras.

Producto de estas adaptaciones, es que las cabras pueden aprovechar el efecto nutricional de plantas, que para otros rumiantes pudieran

ser tóxicas, como *Medicago sativa*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis glandulosa* (Washburn y col., 2002; Gorniak y col., 2008; Poutaraud y col., 2017).

Efectos del consumo de arbustivas nativas en el aspecto nutricional, reproductivo y sanitario en las cabras

Los compuestos bioactivos presentes en las plantas heterogéneas del agostadero se pueden transmitir a través de su consumo, por lo que permiten a la cabra, como resultado de su adaptación anatómica y fisiológica, obtener beneficios nutricionales, que, a su vez, se pueden transmitir a los productos finales, como carne, leche y sus derivados. Al respecto, Giorgio y col. (2019) estudiaron la composición química nutricional de quesos elaborados con leche de cabras (Red Syrian) alimentadas con las leguminosas *Festuca arundinacea*, *Pisum sativum*, *Trifolium alexandrinum*, *Vicia sativa* y *Vicia faba minor*, y las gramíneas *Hordeum vulgare* y *Triticosecale*. Las cabras que consumieron *Festuca arundinacea* tuvieron la más alta producción láctea con 1 061.5 g/d, así como el mayor porcentaje de grasa (55 % en base seca). Los quesos elaborados con leche de cabras, que consumieron *Trifolium alexandrinum*, *Triticosecale* y *Hordeum vulgare*, presentaron un mejor perfil de ácidos grasos. Con respecto al indicador capacidad total antioxidante en el forraje (TAC-F), la leche proveniente del consumo de *Vicia faba minor* y *Vicia sativa* mostró valores altos, con 288.4 % y 218 % TAC-F, respectivamente. En esta investigación se determinó cuales quesos presentaban características más altas del índice general de salud de quesos (GHIC Index, por sus siglas en inglés: General Health Index of Cheese), que es un indicador de la presencia de componentes en el queso que promueve la salud pública. Los quesos con esta característica provenían de leche de cabras que consumieron *Trifolium alexandrinum* y *Triticosecale*.

Leparmarai y col. (2019) evaluaron el efecto de la suplementación alimenticia con extractos de semilla de uva a cabras Saanen. Se les proporcionaron 7.4 g/100 g MS del extracto

conteniendo 3.5 g de fenoles/100 g MS. Las cabras que consumieron este extracto presentaron mayor porcentaje de composición láctea, con respecto a grasa, proteína y lactosa. Se observó un aumento en el indicador de actividad antioxidante en plasma sanguíneo en la semana 11 del consumo del concentrado de fenoles ($211 \mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{L}$), a diferencia del grupo experimental con $198 \mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{L}$.

Di-Trana y col. (2015) estudiaron el efecto nutricional y antioxidante de *Sulla coronarium* L, y reportaron que, a comparación de los animales que consumieron heno de cebada, los que consumieron hojas verdes de *Sulla coronarium* L, tuvieron mayor ingesta de MS (1.65 g/d vs. 1.82 g/d , respectivamente), probablemente por su alto contenido de PC y bajo de fibra detergente neutra (FDN) de las hojas verdes. En la leche de las cabras, bajo este experimento, se detectó que aquellas que consumieron *Sulla coronarium* L, el contenido de polifenoles total en la leche (MTP, por sus siglas en inglés: Milk Total Phenolic) fue mayor, en comparación con las cabras que consumieron heno de cebada ($0.96 \text{ g/equivalentes de ácido gálico [EAG]/d}$ y 0.82 g/EAG/d , respectivamente), reportando similar comportamiento para los polifenoles libres en la leche, proporcionando esta planta un valor adicional en términos de estatus oxidativo, debido a la presencia de polifenoles, por lo que mejora la calidad láctea.

También los compuestos bioactivos de las plantas heterogéneas tienen efectos en el aspecto reproductivo y/o sanitario. En el primero, se ha registrado que la ingestión de arbustos impacta las características seminales en los sementales caprinos. Vera-Avila y col. (1997) analizaron el efecto del consumo de *Acacia berlandieri* y *Acacia rigidula* en machos Angora activos sexualmente, y encontraron que aquellos que consumieron estas plantas tuvieron niveles bajos de testosterona ($0.70 \pm 0.07 \text{ ng/mL}$), en comparación con el grupo control, alimentado con heno de alfalfa ($1.52 \pm \text{ng/mL}$) ($P < 0.001$). Además observaron una reducción en la circunferencia escrotal de 3.0 cm en el día 52 del tratamiento, en comparación con 0.6 cm en el

grupo testigo. La concentración espermática no se afectó, pero si hubo un efecto según los días de tratamiento. El grupo que consumió *Acacias* presentó un valor de 1 211 mill/cel/mL al día 10, aumentando a 2 044 mill/cel/mL para el día 52, mientras que el grupo control solo alcanzó valores adecuados los días 24 y 38, con 1 575 mill/cel/mL y 1 830 mill/cel/mL, respectivamente. Asimismo, Mellado (2016) señaló que la calidad del semen y perfiles metabólicos de machos caprinos en pastoreo eran sensibles a la ingestión de algunos forrajes del desierto chihuahuense en México.

Okukpe y col. (2014) estudiaron el efecto del extracto de *Mucuna pruriens*, planta que contiene L-3, 4-dihydroxyphenyl alanina (L-Dopa), precursor de la dopamina, y registraron que a dosis de 0.2 mL/kg de peso vivo (PV) obtuvieron valores de $2.30 \times 10^9/\text{mL}$ de conteo espermático, viabilidad del 83.5 % y niveles de testosterona en suero de 2.5 g/dL , a comparación del grupo testigo (0.1 mL/kg PV , citrato de sildenafil), donde se obtuvieron los valores de $1.65 \times 10^9/\text{mL}$, 75.3 % y 1.40 g/dL .

En el aspecto sanitario, Worku y col. (2016) analizaron el efecto del consumo de *Sericea lespedeza* en la inmunidad innata en animales infectados con parásitos, y encontraron que la concentración de citoquinas proinflamatorias en suero (TNF- α , IFN- γ , G-CSF, GM-CSF, IL-1 α , IP-10) fue mayor en los animales que consumieron esta planta, a comparación del grupo testigo, que se alimentó con *pellets* de alfalfa. Así también, el consumo estimuló la expresión de ciertos genes relacionados con la inmunidad innata, como los genes TLR4, TLR2, IFN- γ y CD-14, entre otros. Los autores concluyeron que, consumiendo esta planta, el animal es resiliente a la infección parasitaria, por el efecto de la presencia de TC y la estimulación de la inmunidad innata.

Las cabras tienen una conducta alimenticia adaptativa que les permite consumir las plantas heterogéneas que se encuentran en el agostadero. Sin embargo, es necesario seguir realizando investigaciones, sobre cómo esta con-

ducta adaptativa puede tener una influencia en el uso potencial del agostadero y su repercusión en la producción caprina, y como esta conducta es modificada por la presencia de compuestos pertenecientes al metabolismo secundario de las plantas. Por lo tanto, es necesario elaborar investigaciones sobre el uso adecuado, planeado y estratégico de los recursos forrajeros de las zonas áridas. Para ello, es preciso realizar la identificación (taxonómica), distribución y disponibilidad de las distintas plantas consumidas por las cabras en zonas áridas. Analizar el perfil de compuestos bioactivos (metabolitos secundarios), con respecto a identificación de moléculas y actividad antioxidante, así como de los elementos nutricionales (PC, ácidos grasos, fracción fibrosa). Investigar los efectos en la salud (control de parasitosis, control de infecciones bacterianas) y la productividad (ganancia de peso, conversión alimenticia) de las cabras al incluirlos en la dieta. También, es importante conocer el efecto de la inclusión en la calidad de los productos obtenidos de las cabras (carne, leche y queso), particularmente sobre el contenido de ácidos grasos y antioxidantes. Se

deben realizar diseños experimentales que logren explicar los modos de acción (absorción, distribución, dinámica y cinética) de polifenoles, terpenos y alcaloides. Sobre todo, que los resultados de estos hallazgos puedan ser extrapolados a cualquier agroecosistema.

CONCLUSIONES

Las cabras se han adaptado a zonas agroecológicas áridas, mediante mecanismos conductuales y fisiológicos, que les permiten seleccionar, consumir alimento y producir en condiciones limitantes para otras especies animales. Las adaptaciones desarrolladas por las cabras, de acuerdo con las variaciones en disponibilidad y calidad del agostadero árido, deben ser aprovechadas, con la finalidad de establecer estrategias de manejo, para favorecer su producción. Se requiere más investigación acerca de la respuesta adaptativa de las cabras al consumo de metabolitos secundarios y sus efectos sobre procesos reproductivos, nutricionales, estado sanitario y en los productos derivados de la leche o carne de esta especie.

REFERENCIAS

- Ackermans, L. N., Martín, F. L., Hummel, J., Muller, D. W. H., Clauss, M., and Hatt, J. M. (2019). Feeding selectivity for diet abrasiveness in sheep and goats. *Small Ruminant Research*. 175:160-164.
- Alonso-Díaz, M. A., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., and Capetillo-Leal, C. M. (2012). Amino acid profile of the protein from whole saliva of goats and sheep and its interaction with tannic acid and tannins extracted from the fodder of tropical plants. *Small Ruminant Research*. 103(1): 69-74.
- Andrabi, S. M., Ritchie, M. M., Stimson, C., Horadagoda, A., Hyde, M., and McNeill, D. M. (2005). *In vivo* assessment of the ability of condensed tannins to interfere with the digestibility of plant protein in sheep. *Animal Feed Science and Technology*. 122(1-2):13-27.
- Ayala-Burgos, A., Cetina-Gongora, R., Zapata-Campos, C. C., Capetillo-Leal, C. y Sandoval-Castro, C. A. (2006). *Composición Química - Nutricional de Árboles Forrajeros*. Merida, Yucatán: Universidad Autónoma de Yucatán. 54 Pp.
- Berridge, K. C. (1996). Food reward – brain structures of wanting and liking. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 20(1):1-25.
- Bojkovski, D., Štuhec, I., Kompan, D., and Zupan, M. (2014). The behavior of sheep and goats co-grazing on pasture with different types of vegetation in the Karst region. *Journal of Animal Science*. 92(6): 2752-2758.
- Boyazoglu, J., Hatziminaoglou, I., and Morand-Fehr, P. (2005). The role of the goat in society: Past, present and perspectives for the future. *Small Ruminant Research*. 60(1-2):13-23.
- Brito, D. R. B., Costa-Júnior, L. M., Garcia, J. L., Torres-Acosta, J. F. J., Louvandini, H., Cutrim-Júnior, J. A. A., ..., and Soares, E. D. S. (2018). Supplementation with dry *Mimosa caesalpinifolia* leaves can reduce the *Haemonchus contortus* worm burden of goats. *Veterinary Parasitology*. 252: 47-51.
- Brunet, S., De-Montellano, C. M. O., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., Aguilar-Caballero, A. J., Capetillo-Leal, C., and Hoste, H. (2018). Effect of the

consumption of *Lysiloma latisiliquum* on the larval establishment of gastrointestinal nematodes in goats. *Veterinary Parasitology*. 157(1-2):81-88.

Calder, W. A. (1984). *Size, Function and Life history*. Mineola, New York: Harvard University Press, Cambridge. 423 Pp.

Cardozo-Herrán, M., Ayala-Burgos, A., Aguilar-Perez, 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 System*. 1-9.

Carvalho, W. F. D., Oliveira, M. E. D., Alves, A. A., Moura, R. L. D., and Moura, R. M. D. A. D. S. (2017). Energy supplementation in goats under a silvopastoral system of tropical grasses and leucaena. *Revista Ciencia Agronomica*. 48(1):199-207.

Catunda, K. L. M., de-Aguiar, E. M., de-Góes-Neto, P. E., da-Silva, J. G. M., Moreira, J. A., do-Nascimento-Rangel, A. H., and de-Lima-Júnior, D. M. (2016). Gross-composition, fatty acid profile and sensory characteristics of Saanen goat milk fed with Cacti varieties. *Tropical Animal Health and Production*. 48(6):1253-1259.

Chimphango, B. M. S., Gallant, H. L., Poulsen, C. Z., Poulsen, C. Z., Samuels, M. I., Hattas, D., ..., and Howieson, J. (2020). Native legume species as potential fodder crops in the mediterranean renosterveld shrubland, South Africa. *Journal of Arid Environments*. 173:104015.

Choubey, M., Pattanaik, A. K., Baliyan, S., Dutta, N., Jadhav, S. E., and Sharma, K. (2016). Dietary supplementation of a novel phytogetic feed additive: effects on nutrient metabolism, antioxidant, status and immune response of goats. *Animal Production Science*. 56(10):1612-1621.

Church, D. C., Pond, W. G., and Pond, K. R. (2002). *Nutrición y alimentación de los animales*. (Second edition). Madrid, España: Limusa Wiley. 438 Pp.

Cordova-Torres, A. V., Mendoza-Mendoza, J. C., Bernal-Santos, G., García-Gasca, T., Kawas, J. R., Costa, R. G., ..., and Andrade-Montemayor, H. M. (2015). Nutritional composition, *in vitro* degradability and gas production of *Opuntia ficus indica* and four other wild cacti species. *Life Science Journal*. 12(2).

Croteau, R., Kutchan, T. M., and Lewis, N. G. (2000). Natural products (secondary metabolites). *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. 24:1250-1319.

Cuchillo, H., Puga, D., Wrage-Mönning, N., Espinosa, M., Montaña, B., Navarro-Ocaña, A., ..., and Pérez-Gil, R. (2013). Chemical composition, antioxidant activity and bioactive compounds of vegetation species ingested

by goats on semiarid rangelands. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 22(2):106-115.

Davis, T. Z., Stegelmeier, B. L., and Hall, J. O. (2014). Analysis in horse hair as a means of evaluating selenium toxicoses and long-term exposures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 62(30):7393-7397.

Delgadillo-Puga, C., Cuchillo-Hilario, M., León-Ortiz, L., Ramírez-Rodríguez, A., Cabiddu, A., Navarro-Ocaña, A., ..., and Pedraza-Chaverri, J. (2019). Goats' feeding supplementation with *Acacia farnesiana* pods and their relationship with milk composition: Fatty acids, polyphenols, and antioxidant activity. *Animals*. 9(8):515.

Devendra, C. (2010). Concluding synthesis and the future for sustainable goat production. *Small Ruminant Research*. 89(2-3):125-130.

Distel, R. A. and Provenza F. D. (1991). Experience early in life affects voluntary intake of blackbrush by goats. *Journal of Chemical Ecology*. 17(2):431-450.

Di-Trana, A., Bonanno, A., Cecchini, S., Giorgio, D., Di-Grigoli, A., and Claps, S. (2015). Effects of Sulla forage (*Sulla coronarium* L.) on the oxidative status and milk polyphenol content in goats. *Journal of Dairy Science*. 98(1):37-46.

Domingues, L. F., Botura, M. B., Cruz, A. C. F. G. D., Yuki, C. C., Silva, G. D. D., Costa, M. S., ..., and Branco, A. (2010). Evaluation of anthelmintic activity of liquid waste of *Agave sisalana* (sisal) in goats. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*. 19(4):270-272.

Durmic, Z. and Blache, D. (2012). Bioactive plants and plant products: Effects on animal function, health and welfare. *Animal Feed Science and Technology*. 176: 150-162.

Egea, A. V., Allegratti, L. I., Paez-Lama, S. A., Grilli, D., Fucili, M., Guevara, J. C., and Villalba, J. J. (2016). Diet mixing and condensed tannins help explain foraging preferences by Creole goats facing the physical and chemical diversity of native woody plants in the central Monte desert (Argentina). *Animal Feed Science and Technology*. 215:47-57.

Egualé, T., Tilahun, G., Debella, A., Feleke, A., and Makonnen, E. (2007). *Haemonchus contortus*: *in vitro* and *in vivo* anthelmintic activity of aqueous and hydro-alcoholic extracts of *Hedera helix*. *Experimental Parasitology*. 116(4):340-345.

Estell, R. E., Utsumi, S. A., and Cibils, A. F. (2010). Measurement of monoterpenes and sesquiterpenes in serum, plasma, and rumen fluid from sheep. *Animal Feed Science and Technology*. 158(1-2):104-109.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2007). Zonas áridas del mundo. [En línea]. Dis-

ponible en: <http://fao.org/3/y5738s02.pdf>. Fecha de consulta: 8 de diciembre de 2019.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020). FAOSTAT. [En línea]. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/409/default.aspx>. Fecha de consulta: 5 de enero de 2020.

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. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 68(8):1335-1344.

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. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 23(4):1034-1040.

Ginane, C., Baumont, R., and Favreau-Peigné, A. (2011). Perception and hedonic value of basic tastes in domestic ruminants. *Physiology & Behavior*. 104(5):666-674.

Ginane, C., Bonnet, M., Baumont, R., and Revell, D. K. (2015). Feeding behaviour in ruminants: A consequence of interactions between a reward system and the regulation of metabolic homeostasis. *Animal Production Science*. 55(3):247-260.

Giorgio, D., Di-Trana, Di-Napoli, A. M., Sepe, L., Cecchini, S., Rossi, R., and Claps, S. (2019). Comparison of cheeses from goats fed 7 forages based on a new health index. *Journal of Dairy Science*. 102:6790-6801.

Goetsch, A. L. (2019). Recent research of feeding practices and the nutrition of lactantig dairy goats. *Journal Applied Animal Research*. 47(1):103-114.

Gorniak, S. L., Pfister, J. A., Lanzonia, E. C., and Raspantini, E. R. (2008). A note on averting goats to a toxic but palatable plant, *Leucaena leucocephala*. *Applied Animal Behaviour Science*. 111(3-4): 396-401.

Gutteridge, R. C. and Shelton, H. M. (1994). Animal Production Potential of Agroforestry Systems. In M. Copland, J. W. Djajanegara, and A. Sabrani (Eds.), *Agroforestry and animal production for human welfare* (pp. 7-17). Canberra: Association Agroforestry Animal Production.

Habib, G., Khan, N. A., Sultan, A., and Ali, M. (2016). Nutritive value of common tree leaves for livestock in the semi-arid and arid rangelands of Northern Pakistan. *Livestock Science*. 184: 64-70.

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 acceptance of this feedstuff by their kids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 96(6): 2215-2219.

Hernández-Orduño, G., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., Capetillo-Leal, C. M., Aguilar-Caballero, A. J., and Alonso-Díaz, M. A. (2015). A tannin-blocking agent does not modify the preference of sheep towards tannin-containing plants. *Physiology & Behavior*. 145:106-111.

Hervás, G., Frutos, P., Giráldez, F. J., Mantecón, Á. R., and Del-Pino, M. C. Á. (2003). Effect of different doses of quebracho tannins extract on rumen fermentation in ewes. *Animal Feed Science and Technology*. 109(1-4): 65-78.

Hetem, R. S., de-Witt, B. A., Fick, L. G., Fuller, A., Maloney, S. K., Meyer, L. C. R., ..., and Kerley, G. I. H. (2011). Effects of desertification on the body temperature, activity and water turnover of Angora goats. *Journal of Arid Environments*. 75(1):20-28.

Heuermann, N., van-Langevelde, F., van-Wieren, S. E., and Prins, H. H. T. (2011). Increased searching and handling effort in tall swards lead to a Type IV functional response in small grazing herbivores. *Oecologia*. 166(3):659-669.

Hoste, H., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., Mueller-Harvey, I., Sotiraki, S., Louvandini, H., ..., and Terrill, T. H. (2015). Tannin containing legumes as a model for nutraceuticals against digestive parasites in livestock. *Veterinary Parasitology*. 212(1-2): 5-17.

Hunt, J. W., Dean, A. P., Webster, R. E., Johnson, G. N., and Ennos, A. R. (2008). A Novel Mechanism by which Silica Defends Grasses Against Herbivory. *Annals of Botany*. 102(4):653-656.

Isah, T. (2019). Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biology Research*. 52 (39):2-25.

Jafari, S., Ebrahimi, M., Goh, Y. M., Rajion, M. A., Jahromi, M. F., and Al-Jumaili, W. S. (2019). Manipulation of rumen fermentation and methane gas production by plant secondary metabolites (saponin, tannin and essential oil): a review of ten-year studies. *Annual Animal Science*. 19:3-29.

Kholif, A. E., Gouda, G. A., Anele, U.Y., and Galyean, M. L. (2018). Extract of *Moringa oleifera* leaf improves feed utilization of lactating Nubian goats. *Small Ruminant Research*. 158:69-75.

Koluman-Darcan, N. and Silanikove, N. (2018). The advantages of goats for future adaptation to Climate Change: A conceptual overview. *Small Ruminant Research*. 163:34-38.

- Lee, S. T., Welch, K. D., Stonecipher, C. A., Cook, D., Gardner, D. R., and Pfister, J. A. (2020). Analysis of rumen contents and ocular fluid for toxic alkaloids from goats and cows dosed larkspur (*Delphinium barbeyi*), lupine (*Lupinus leucophyllus*), and death camas (*Zigadenus paniculatus*). *Toxicon*. 176: 21-29.
- Leparmarai, P. T., Sinz, S., Kunz, C., Liesegang, A., Ortmann, S., Kreuzer, M., and Marquardt, S. (2019). Transfer of total phenols from a grapeseed-supplemented diet to dairy sheep and goat milk, and effects on performance and milk quality. *Journal of Animal Science*. 97(4): 1840-1851.
- Makkar, H. P. S. (2006). Chemical and biological assays for quantification of major plant secondary metabolites. *BSAP Occasional Publication*. 34: 235-249.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., and Rémésy, C. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 79(5): 727-747.
- 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 of goats in a Mediterranean woody rangeland. *Small Ruminant Research*. 145: 142-153.
- Márquez-Lara, D. y Suárez-Londoño, Á. (2008). El uso de taninos condensados como alternativa nutricional y sanitaria en rumiantes. *Revista de Medicina Veterinaria*. 1(16): 87-109.
- Mayouf, R. and Arbouche, F. (2015). Seasonal variations in the chemical composition and nutritional characteristics of three pastoral species from Algerian arid rangelands. *Livestock Research of Rural Development*. 27: 3.
- McArthur, C., Hagerman, A. E., and Robbins, C. T. (1991). Physiological strategies of mammalian herbivores against plant defenses. In R. Thomas and C. T. Robbins (Eds.), *Plant defenses against mammalian herbivory* (pp. 103-114). Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc.
- McIntosh, M., M., Holechek, J. L., Spiegel, S. A., Cibils, A. F., and Estell, R. E. (2019). Long-term declining trends in Chihuahuan desert forage production in relation to precipitation and ambient temperature. *Rangeland Ecology & Management*. 72(6): 976-987.
- Mellado, M. (2016). Dietary selection by goats and the implications for range management in the Chihuahuan Desert: A review. *Rangeland Journal*. 38(4): 331-341.
- 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.
- Mellado, M., Salas, G., and Pittroff, W. (2008). *Sphaeralcea angustifolia* as a substitute for alfalfa for growing goats. *Rangeland Ecology & Management*. 61(4): 405-411.
- Mennella, J. A., Johnson, A., and Beauchamp, G. K. (1995). Garlic ingestion by pregnant women alters the odor of amniotic fluid. *Chemical Senses*. 20(2): 207-209.
- Min, B. R., Perkins, D., Wright, C., Dawod, A., Min, B. J., Terrill, T. H., ..., and Gurung, N. (2015). Effects of feeding two different tannin-containing diets on ruminal fermentation profiles and microbial community changes in meat goats. *Agriculture, Food and Analytical Bacteriology*. 5: 153-165.
- Mkhize, N. R., Scogings, P. F., Nsahlai, I. V., and Dziaba, L. E. (2014). Diet selection of goats depends on season: roles of plant physical and chemical traits. *African Journal of Range and Forage Science*. 31(3): 209-214.
- Mnisi, C. M. and Mlambo, V. (2016). Influence of harvesting site on chemical composition and potential protein value of *Acacia erioloba*, *A. nilotica* and *Ziziphus mucronata* leaves for ruminants. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 101(5): 994-1003.
- Moquin, P., Curry, B., Pelletier, F., and Ruckstuhl, K. E. (2010). Plasticity in the rumination behaviour of big-horn sheep: contrasting strategies between the sexes? *Animal Behaviour*. 79(5): 1047-1053.
- Moreno, F. C., Gordon, I. J., Knox, M. R., Summer, P. M., Skerrat, L. F., Benvenuti, M. A., and Saumell, C. A. (2012). Anthelmintic efficacy of five tropical native Australian plants against *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis* in experimentally infected goats (*Capra hircus*). *Veterinary Parasitology*. 187: 237-243.
- Mueller-Harvey, I., Bee, G., Dohme-Meier, F., Hoste, H., Karonen, M., Kölliker, R. ..., and Waghorn, G. C. (2019). Benefits of condensed tannins in forage legumes fed to ruminants: importance of structure, concentration, and diet composition. *Crop Science*. 59(3): 861-885.
- Nielsen, B. L., De-Jong, I. C., and Devries, T. J. (2016). Nutrition and the Welfare of farm animals. In J. C. P. Clive (Ed.), *Nutrition and the welfare of farm animals* (pp. 59-84). Switzerland: Springer International Publishing.
- Nolte, D. L., Provenza, F. D., Callan, R., and Panter, K. E. (1992). Garlic in the ovine fetal environment. *Physiology & Behavior*. 52: 1091-1093.
- Ntuthuko, R., Ignas, M. A., Heitkönig, P. F., Scogings, Hattas, D., Luthando, E., ..., and Prins-Willem, F. (2018). Seasonal regulation of condensed tannin consumption by free-ranging goats in a semi-arid savanna. *Plos One*. 13: 1-17.

- Okukpe, K. M., Adeloye, A. A., and Soladoye, A. O. (2014). Effects of varying levels of mucuna pruriens extract on reproductive performance of west african dwarf bucks. *Centrepont Journal*. 20(2):95-102.
- Olivares-Pérez, J., Avilés-Nova, F., Albarrán-Portillo, B., Castelán-Ortega, O., and Rojas-Hernández, S. (2013). Use of three fodder trees in the feeding of goats in the subhumid tropics in Mexico. *Tropical Animal Health Production*. 45(3): 821-828.
- Olivas-Aguirre, F. J., Wall-Medrano, A., González-Aguilar, G. A., López-Díaz, J. A., Álvarez-Parrilla, E., de-la-Rosa, L. A. y Ramos-Jiménez, A. (2015). Taninos hidrolizables, bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos en la salud. *Nutrición Hospitalaria*. 31(1): 55-66.
- Osoro, K., Ferreira, L. M. M., García, U., Jáuregui, B. M., Martínez, A., Rosa-García, R., and Celaya, R. (2013). Diet selection and performance of sheep and goats grazing on different heathland vegetation types. *Small Ruminant Research*. 109(2-3): 119-127.
- Pech-Cervantes, A. A., Ventura-Cordero, J., Capetillo-Leal, C. M., Torres-Acosta, J. F. J., and Sandoval-Castro, C. A. (2016). Relationship between intake of tannin-containing tropical tree forage, PEG supplementation, and salivary haze development in hair sheep and goats. *Biochemical Systematics and Ecology*. 68: 101-108.
- Pliner, P. and Hobden, K. (1992). Development of a scale to measure the trait of food neophobia in humans. *Appetite*. 19(2): 105-120.
- Poutaraud, A., Michelot-Antalik, A., and Plantureux, S. (2017). Grasslands: a source of secondary metabolites for livestock health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 65(31): 6535-6553.
- Provenza, F. D. (1995). Postingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. *Journal of Range Management*. 48:2-17.
- Quiroz-Cardoso, F., Rojas-Hernández, S., Olivares-Pérez, J., Hernández-Castro, E., Jiménez-Guillén, R., Córdova-Izquierdo, 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. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 47(1): 33-38.
- Ramírez-Restrepo, C. A. and Barry, T. N. (2005). Alternative temperate forages containing secondary compounds for improving sustainable productivity in grazing ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 120 (3-4): 179-201.
- Reid, R. S., Fernández-Giménez, M. E., and Galvin, K. A. (2014). Dynamics and resilience of rangelands and pastoral peoples around the globe. *Annual Review of Environment and Resource*. 39: 217-242.
- Robbins, C. T., Spalinger, D. E., and van-Hoven, W. (1995). Adaptation of ruminants to browse and grass diets: are anatomical-based browser-grazer interpretations valid? *Oecologia*. 103(2): 208-213.
- Rosa-García, R., Celaya, R., García, U., and Osoro, K. (2012). Goat grazing, its interactions with other herbivores and biodiversity conservation issues. *Small Ruminant Research*. 107(2-3): 49-64.
- 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. *Livestock Science*. 195: 118-124.
- Sawal, R. K., Ratan, R., and Yadav, S. B. S. (2004). Mesquite (*Prosopis juliflora*) pods as a feed resource for livestock - A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 17(5): 719-725.
- Schmitt, H. M., Ward, D., and Shrader, M. A. (2020). Salivary tannin-binding protein: A foraging Advantage for Goats. *Livestock Science*. 234: 103974.
- Sebata, A. and Ndlovu, L. R. (2012). Effect of shoot morphology on browse selection by free ranging goats in a semi-arid savanna. *Livestock Science*. 144(1-2): 96-102.
- Silanikove, N. (2000a). Goat production under harsh environmental conditions: The physiological basis and the challenge, in *The Opportunities and Challenges for Enhancing Goat Production in East Africa*. Langston University, Langston. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/236162686-Goat_production_under_harsh_environmental_conditions_The_physiological_basis_and_the_challenge. Fecha de consulta: 7 de julio de 2019.
- Silanikove, N. (2000b). The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. *Small Ruminant Research*. 35(3): 181-193.
- Silanikove, N., Gilboa, N., Perevolotsky, A., and Nitsan, Z. (1996). Goats fed tannin-containing leaves do not exhibit toxic syndromes. *Small Ruminant Research*. 21(3): 195-201.
- Silanikove, N. and Koluman-Darcan, N. (2015). Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: Predications on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaptation to earth warming. *Small Ruminant Research*. 123(1): 27-34.
- Škerget, M., Kotnik, P., Hadolin, M., Hraš, A. R., Simonič, M., and Knez, Ž. (2005). Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their

antioxidant activities. *Food Chemistry*. 89(2):191-198.

Smotherman, W. P. and Robinson, S. R. (1987). Prenatal expression of species-typical action patterns in the rat fetus (*Rattus norvegicus*). *Journal of Comparative Psychology*. 101(2):190-196.

Soldera-Silva, A., Seyfried, M., Campestrini, L. H., Zawadzki-Baggio, S. F., Minho, A. P., Molento, M. B., and Maurer, J. B. B. (2018). Assessment of anthelmintic activity and bio-guided chemical analysis of *Persea americana* seed extracts. *Veterinary Parasitology*. 251:34-43.

Speed, M. P., Fenton, A., Jones, M. G., Ruxton, G. D., and Brockhurst, M. A. (2015). Coevolution can explain defensive secondary metabolite diversity in plants. *New Phytologist*. 208(4): 1251-1263.

Stonecipher, C. A., Lee, S. T., Green, B. T., Cook, D., Welch, K. D., Pfister, J. A., and Gardner, D. R. (2019). Evaluation of noninvasive specimens to diagnose livestock exposure to toxic larkspur (*Delphinium* spp.). *Toxicon*. 161:33-39.

Torres-Acosta, J. F. de J., Alonso-Díaz, M. Á., Hoste, H., Sandoval-Castro, C. A., and Aguilar-Caballero, A. J. (2008). Efectos negativos y positivos del consumo de forrajes ricos en taninos en la producción de caprinos. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 9(1):83-90.

Torres-Fajardo, R. A., Navarro-Alberto, J. A., Ventura-Cordero, J., González-Pech, G., Sandoval-Castro, C. A., Chan-Pérez, J. I., and Torres-Acosta, J. F. J. (2019). Intake and selection of goats grazing heterogeneous vegetation: effect of gastrointestinal nematodes and condensed tannins. *Rangeland Ecology & Management*. 72(6): 946-953.

Vadlamani, P. S., Devi, B. D., Poosarala, A., and Bapatla, V. K. (2016). Identification of plant sources from north Andhra Pradesh exhibiting immunomodulatory activity using Balb/c models. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*. 7(1):295-300.

van-Cleef, F. and Dubeux, J. (2020). Condensed tannins in forage legumes. *EDIS*. (1):4-4.

van-Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Ithaca, USA: Comstock Publishing Associates. 463 Pp.

Ventura-Cordero, J., González-Pech, P. G., Sandoval-Castro, C. A., Torres-Acosta, J. F. J., and Tun-Garrido, J. (2017). Feed resource selection by Criollo goats browsing a tropical deciduous forest. *Animal Production Science*. 58:2314-2320.

Vera-Avila, H. R., Forbes, T. D. A., Berardinelli, J. G., and Randel, R. D. (1997). Effect of dietary phenolic amines on testicular function and luteinizing hormone

secretion in male angora goats. *Journal of Animal Science*. 75(6):1612-1620.

Villalba, J. J., Costes-Thiré, M., and Ginane, C. (2016). Phytochemicals in animal health: Diet selection and trade-offs between costs and benefits. *Proceedings of the Nutrition Society*. 76(2):113-121.

Villalba, J. J., Provenza, F. D., and Banner, R. E. (2002). Influence of macronutrients and activated charcoal on intake of sagebrush by sheep and goats 1, 2. *Journal of Animal Science*. 80(8):2099-2109.

Waghorn, G. (2008). Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production – Progress and challenges. *Animal Feed Science and Technology*. 147(1-3):116-139.

Washburn, K. E., Breshears, M. A., Ritchey, J. W., Morgan, S. E., and Streeter, R. N. (2002). Honey mesquite toxicosis in a goat. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 220(12):1837-1839.

Washaya, S., Mupangwa, J., and Muchenje, V. (2018). Chemical composition of *Lablab purpureus* and *Vigna unguiculata* and their subsequent effects on methane production in Xhosa lop-eared goats. *South African Journal of Animal Science*. 48(3):445-458.

Welch, K. D., Gardner, D. R., Green, B. T., Stonecipher, C. A., Cook, D., and Pfister, J. A. (2016). Comparison of the serum toxicokinetics of larkspur toxins in cattle, sheep and goats. *Toxicon*. 119:270-273.

Welch, K. D., Stonecipher, C. A., Lee, S. T., and Cook, D. (2020). The acute toxicity of water hemlock (*Cicuta douglasii*) in a goat model. *Toxicon*. 176:55-58.

Wink, M. (2015). Modes of action of herbal medicines and plant secondary metabolites. *Medicines*. 2(3): 251-286.

Worku, M., Abdalla, A., Adjei-Fremah, S., and Ismail, H. (2016). The impact of diet on expression of genes involved in innate immunity in goat blood. *Journal of Agricultural Science*. 8(3):1.

Zeder, M. A. and Hesse, B. (2000). The initial domestication of goats (*Capra hircus*) in the Zagros mountains 10,000 years ago. *Science*. 287(5461): 2254-225.

Zobel, G., Neave, W. H., and Webster, J. (2019). Understanding natural behavior to improve dairy goat (*Capra hircus*) management systems. *Translational Animal Science*. 3(1):212-224.