ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/357837385

Sistemas de producción de pequeños rumiantes en México y su efecto en la sostenibilidad productiva

Article *in* Revista MVZ Córdoba · January 2022

DOI: 10.21897/rmvz.2246

CITATIONS
10

READS
893

4 authors:

Miguel Chávez-Espinoza
University of Guadalajara
11 PUBLICATIONS **63** CITATIONS
SEE PROFILE

Israel Cantú Silva
Autonomous University of Nuevo León
136 PUBLICATIONS **1,166** CITATIONS
SEE PROFILE

H. González-Rodríguez
Autonomous University of Nuevo León
296 PUBLICATIONS **2,121** CITATIONS
SEE PROFILE

Oziel Dante Montañez-Valdez
University of Guadalajara
105 PUBLICATIONS **602** CITATIONS
SEE PROFILE

All content following this page was uploaded by Miguel Chávez-Espinoza on 15 January 2022.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

Revista MVZ Córdoba
2022; enero-abril. 27(1):e2246.
https://doi.org/10.21897/rmvz.2246

Revisión de literatura

Sistemas de producción de pequeños rumiantes en México y su efecto en la sostenibilidad productiva

Miguel Chávez-Espinoza[1]; Israel Cantú-Silva[1]; Humberto González-Rodríguez[1]; Oziel Dante Montañez-Valdez[2]*.

[1]Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Linares, México.
[2]Universidad de Guadalajara, Centro Universitario del Sur. Grupo de Investigación en Nutrición Animal, Ciudad Guzmán, Jalisco, México.
*Correspondence: montanez77@hotmail.com

Recibido: Febrero 2021; Aceptado: Noviembre 2021; Publicado: Diciembre 2021.

RESUMEN

En el sector de los pequeños rumiantes existe un gran interés en medir y mejorar sus sistemas de producción y desempeño ambiental, pues poseen una gran adaptabilidad y habitan distintos ecosistemas, con una gran biodiversidad de recursos alimenticios, el pastoreo genera beneficios económico-productivos y medio ambientales. Pero, el manejo no planificado y la sobreexplotación de recursos naturales de estas zonas han ocasionado erosión, agotamiento del agua y desertificación, lo mismo ocurre con los sistemas intensivos de producción y la agricultura que alimenta estas explotaciones. Para comparar innovaciones científicas en la sustentabilidad de los diferentes sistemas de producción de pequeños rumiantes, se realizó un análisis bibliométrico para describir las ventajas y desventajas del manejo de los sistemas de producción extensivos, semi-intensivos e intensivos en la sustentabilidad de pequeños rumiantes. Existe una preocupación de la sociedad por el impacto ambiental de los sistemas de producción y que se realicen de manera sustentable. Esta tendencia influye en la producción de ovinos, cabras y venado cola blanca, que se desarrollan en sistemas intensivos, semi-extensivos y extensivos. Dada la presión para aumentar el volumen y la eficiencia de la producción, los sistemas intensivos son más adecuados, pero enfrentan mayores problemas ambientales como, la emisión gases de efecto invernadero (GEI) y de bienestar animal. Por otro lado, los sistemas semi-extensivos y extensivos también producen GEI, pero se asocian con mayor bienestar animal y producción más limpia, pero se ven afectados por las variaciones estacionales para la producción de forraje para mantener los niveles de producción.

Palabras clave: Caprinos; extensivo; intensivo; ovinos; semi-intensivo; sistemas de producción; sustentabilidad; venado cola blanca (*Fuente: CAB*).

ABSTRACT

In the small ruminant sector, there is a great interest in measuring and improving their production systems and their environmental performance, since its great adaptability and inhabits a wide variety of ecosystems, with a great biodiversity of food resources, grazing in turn, generates economic-

Como citar (Vancouver).
Chávez-Espinoza M, Cantú-Silva I, González-Rodríguez H, Montañez-Valdez OD. Sistemas de producción de pequeños rumiantes en México y su efecto en la sostenibilidad productiva. Rev MVZ Córdoba. 2022; 27(1):e2246. https://doi.org/10.21897/rmvz.2246

©El (los) autor (es) 2021. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

ISSNL: 0122-0268

productive and environmental benefits. However, unplanned management and overexploitation of the natural resources of these areas have caused erosion, water depletion and even desertification, in the same manner intensive production systems and intensive agriculture that feeds these farming systems. To compare scientific innovations in the sustainability of the different production systems of small ruminants a bibliometric analysis was carried out to describe the advantages and disadvantages of the management of extensive, semi-intensive and intensive-stable production systems in the sustainability of small ruminants. There is concern in society about the environmental impact of animal production systems and that these have been carried out in a sustainable way. This trend influences the production of sheep, goats, and white-tailed deer, which are develop in intensive, semi-extensive and extensive systems. Due to the pressure to increase the volume and efficiency of production and to cope with demand, intensive systems are best suited, but face greater environmental problems such emission of greenhouse gases (GHGs), which contribute to global warming and animal welfare problems. On the other hand, semi-extensive and extensive systems also emit GHGs, however are associated with greater animal welfare and cleaner production. However, are affected by seasonal variations for forage production to maintain production levels.

Keywords: Extensive; intensive; goats; semi-intensive; sheep; sustainable; white-tailed deer (*Fuente: CAB*).

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de pequeños rumiantes como ovejas, cabras y rumiantes silvestres (principalmente venado cola blanca), representan un importante recurso productivo en muchos países del mundo. Además, producen efectos beneficiosos sobre el medio ambiente. Algunas de las intervenciones que se están realizando en el sector para mantener rentable y sostenible su explotación. Sus principales productos son leche, carne y lana. Si bien la producción de lana se asocia generalmente con sistemas extensivos, la producción de carne y especialmente la producción de leche están asociadas con sistemas semi-intensivos o intensivos (1).

El sector de los pequeños rumiantes tiene una importancia mundial, las ovejas/cabras son aproximadamente 2,200 millones de cabezas (2). La producción mundial de ovinos y caprinos en 2018 fue de 15.7 millones de toneladas de carne y 29.3 millones de toneladas de leche (2). Aproximadamente el 56, 27 y 21% de los pequeños rumiantes del mundo se encuentran en áreas áridas, templadas y húmedas, respectivamente. La producción de pequeños rumiantes juega un papel socioeconómico importante, ayuda en la gestión de los ecosistemas para conservar la biodiversidad y proporciona productos especializados para cada mercado (3).

En México la producción de ovinos y caprinos es una opción económica para enfrentar la pobreza en las zonas rurales, por la cantidad de ingresos y la cantidad de productores (4,5). En el caso de los ovinos, el inventario nacional es de 8.6 millones de cabezas (6), en 50,000 unidades de producción. Alrededor del 34% de los productores solo obtienen ingresos de la producción ovina. Las zonas templadas del centro del país demandan el 85% de la carne de ovino que se consume a nivel nacional (5). Por otro lado, el inventario nacional de cabras es de 8.7 millones de cabezas, esto coloca a México en el puesto número 13 del mundo y el segundo en el continente americano, después de Brasil. Los rebaños se ubican principalmente en los estados de Puebla, Oaxaca, San Luis Potosí, Coahuila, Guerrero, Zacatecas, Nuevo León, Guanajuato y Michoacán (4).

El venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), este solo se distribuye en el continente americano, México se beneficia económicamente del uso dentro de las UMA (Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre, de acuerdo con la Ley General de Vida Silvestre) y su reglamento (DOF 06-06-2012) es el marco legal donde se aborda la regulación del uso de la fauna silvestre. Establece dos tipos de explotación: extractiva y no extractiva; Las extractivas incluyen la caza, los criaderos, la decoración, la alimentación, los insumos para la industria, la artesanía y la exhibición, mientras que las no extractivas incluyen el ecoturismo, la investigación, la educación ambiental, la fotografía y el video (7). La explotación cinegética del venado cola blanca es la que genera mayores ingresos económicos, incluidas las subespecies *O. v. texanus, O. v. carminis* y *O. v. miquihuanensis* (8). Con un alto valor

económico (hasta $ 5.000 dólares/persona), la caza del venado cola blanca es el sistema de captura de venado a través de las UMA que ha tenido mayor éxito en los estados del norte de México (7). Aunque, también se ha reportado el uso de prácticas de manipulación genética o el suministro de promotores de crecimiento, que resultan en venados machos con cuernos masivos y deformados que se convierten en un impedimento para su movimiento, que son destinados a la caza, y esta práctica es considerada controvertida (7).

Además, en México existen 14 subespecies de venados y su explotación tiene un impacto en la fauna carnívora nativa debido al uso de medidas de manejo no validadas para reducir pérdidas por depredación, como trampas y venenos, principalmente para coyotes (8).

Por lo tanto, en el segmento de pequeños rumiantes, existe un gran interés en medir y mejorar sus sistemas de producción y su desempeño ambiental, ya que cuentan con una amplia variedad de sistemas de manejo y alimentación (Tabla 1). Estas especies tienen una gran adaptabilidad y habitan una amplia variedad de ecosistemas, con una gran biodiversidad de recursos alimenticios y son sometidos a diferentes fluctuaciones en las condiciones ambientales (9). El pastoreo a su vez genera beneficios económico-productivos y ambientales. En contraste, la gestión no planificada y la sobreexplotación de los recursos naturales en estas áreas derivan en la erosión, el agotamiento del agua e incluso la desertificación (10), de la misma manera que los sistemas de producción intensiva y el uso de la agricultura de monocultivo intensivo que alimenta estas unidades estabuladas. La gestión integral de los sistemas productivos y el ordenamiento ecológico son acciones útiles para enfrentar los problemas ambientales y continuar la producción de bienes de origen animal para la sociedad (11), a través de la aplicación de políticas de desarrollo sustentable, priorizando el valor de los recursos hídricos, el manejo de los alimentos y el estiércol, para la mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI), que generan el calentamiento global (12). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo de revisión es comparar el manejo entre los sistemas de producción extensiva, semi-intensiva e intensiva de ovinos, caprino y venado cola blanca, junto con los problemas ambientales que les afectan o se les atribuyen.

Sistemas intensivos

En este sistema las ovejas/cabras, se encuentran estabuladas y la alimentación debe ser equilibrada para lograr altos niveles de producción de leche y/o carne para mercados específicos (1). Se les proporciona alojamiento, atención veterinaria y dietas integrales, adicionadas con vitaminas y minerales, así como pastos cortados, ensilados o henificados, además de la incorporación de leguminosas (18) y concentrados más solubles en la dieta para favorecer la reducción de metano (CH_4) (19).

Generalmente, implica un aumento de uno o más insumos para incrementar la producción total (alimentos de alta calidad, mano de obra y suministros veterinarios). De acuerdo con Gallo y Tadich (20), en América del Sur, la producción de bovinos y pequeños rumiantes se caracteriza principalmente por el pastoreo y un sistema extensivo, mientras que la producción porcina y avícola se asocia a sistemas intensivos; también se considera que causan más problemas ambientales como manejo inadecuado del estiércol (genera óxido nitroso, N_2O), reducción de la calidad del aire y del agua (deposición de nitritos y fosfatos), degradación del suelo y pérdida de biodiversidad (11), problemas que disminuyen su sustentabilidad.

El aumento de la densidad animal se asocia con problemas en los patrones de comportamiento normales, mayor riesgo de interacción agresiva entre animales y transmisión de enfermedades infecciosas. Por estas razones, se requiere un mayor control general de las instalaciones. Asimismo, para la producción de carne y leche este sistema requiere la mejora de los forrajes y una correcta suplementación de granos para evitar desequilibrios nutricionales (21).

Los sistemas intensivos de pequeños rumiantes para la producción de lácteos son más conocidos en Europa y cada vez más en América del Norte y Nueva Zelanda (1). De acuerdo con Aréchiga et al (4), aproximadamente el 6% de la población caprina ubicada en los países desarrollados produce el 25% de la producción mundial de leche de cabra, en comparación con Asia y África con el 85% de la población caprina mundial produce el 64% de la producción mundial de leche, esta diferencia es principalmente por el mayor nivel tecnológico, la rentabilidad económica y la implementación de programas de mejora genética sostenida. Sin embargo, los sistemas intensivos de producción de leche

para pequeños rumiantes se distribuyen al azar en los países en desarrollo donde existe un nicho de mercado. También, Yusuf et al (22), indicó que los productores de ovino/caprino encuestados en Nigeria, el 44% utiliza el sistema semi-intensivo, el 38% el sistema intensivo y solo el 18% el sistema extensivo, asociando este cambio con una mejora en la producción y rentabilidad. En México, los sistemas intensivos de producción de leche de cabra se encuentran en la región de La Laguna, El Bajío y el centro del país, donde se produce leche de óptima calidad con más altos niveles de producción que los sistemas extensivos (23).

Tabla 1. Resumen de diferentes estudios de caso de sistemas de pequeños rumiantes extensivos, semi-intensivos e intensivos.

Especie	Tipo de sistema	Manejo adicional	Parámetro productivo	Interacción con el ambiente	Observaciones	Autor
Cabritos	Extensivo	Leche y pastoreo	GDP= 113.5 g	Variación estacional afecta la producción de forraje	Recomendado con forraje de buena calidad	Herrera et al (13)
	Semi-extensivo	Leche y alfalfa	GDP= 127.5 g			
	Intensivo	Formula láctea 3 d de edad, concentrado y alfalfa	GDP= 96.0 g		Recomendado solo si la leche se va a transformar en un producto de mayor valor adicional	
Cabra/ Ovejas	Extensivo	Pastoreo continuo	Bajo rendimiento de MS, 30 a 471 kg/ha	35% cobertura vegetal	Los animales ejercen más presión de pastoreo para satisfacer sus necesidades.	Echavarría-Chairez et al (14)con pequeños rumiantes. El estudio se realizó en agostadero (53 ha
	Extensivo	Pastoreo rotacional	Mayor rendimiento de MS, 101 a 1.151 kg/ha	60% cobertura vegetal	Ayuda a mantener la composición botánica del agostadero.	
Ovejas	Extensivo (SSP)	Pastoreo de voisin en Pangola (*D. eriantha*) asociado con Guaje (*L. leucocephala*)	Mayor rendimiento anual con 25.000 árboles (15.958±1190 kg MS/ha), CCA (2.93 UA/ha).	La *L. leucocephala* aprovecha las lluvias estacionales para mantener el crecimiento y su consumo mitiga la producción de CH_4.	Este manejo mantiene la disponibilidad de forraje durante todo el año, incluso con una estación seca prolongada.	Azuara-Morales et al (15)
Ovejas	Semi-extensivo	Pasto Festuca (*S. arundinaceus*) + 0.5 kg de trigo.	PC = 16.8% Disponibilidad de forraje = 5.050±80 kg/ha GDP=880 g	La expansión de pastizales afecta a los bosques nativos y otros ecosistemas.	Pasto festuca es adecuado para un pastoreo de invernal de 6 semanas.	Pent y Fike (16)
	Extensivo (SSP)	Pasto Festuca (*S. arundinaceus*) + vainas (*G. triacanthos*).	PC=18.5% Disponibilidad de forraje = 5.140±90 kg/ha GDP= 890 g	Los árboles facilitan la infiltración de agua, nutrientes, secuestro de carbono, forraje y sombra.	Las vainas de *G. triacanthos* fueron más nutritivas en comparación con la suplementación de 0.5 kg de trigo, pero requieren adaptación	
Cervatillos	Intensivo	Fórmula láctea 4 veces al día durante 4 semanas, luego se ofreció concentrado, agua y forraje *ad libitum* durante 9 semanas.	GDP=130 g hembras	Mejora de las poblaciones silvestres y el hábitat natural.	No se observaron diferencias con los machos criados de forma natural.	Ramírez-Torres (17)
		Criado naturalmente con la madre	GDP= 150 g hembras			

CCA: capacidad de carga animal, GDP: ganancia diaria de peso, g: gramos, kg: kilogramos, Ha: hectárea, MS: materia seca, SSP: Sistema silvopastoril, PC: proteína cruda, UA: unidad animal.

En el caso del venado, se ha informado que la crianza intensiva de cervatillos habitados a personas puede tener excelentes resultados para aumentar y reproducir poblaciones de venados con excelentes características y consiste en mantener a los individuos en recintos donde se alimentan con fórmula láctea, forrajes y concentrados dependiendo del estado de madurez del venado (17).

Sistemas semi-intensivos

Las ovejas/cabras pastorean y ramonean en pastizales con vegetación natural o plantada y cuando regresan a los corrales e instalaciones se les suplementa con concentrados y forrajes (24). En el venado cola blanca, este sistema incluye zoológicos y criaderos que operan en áreas cercadas, generalmente pequeñas. Muchos criaderos, propiedad de cooperativas de comuneros o pequeños productores, requieren en muchos casos una mejor capacitación en manejo (nutrición y salud) y comercialización (7).

En México, la mayor parte del inventario de cabras se ubica en zonas áridas, que cubren más del 50% de la superficie del país y más de la mitad de la vegetación es matorral xerófilo. La mayor parte de la inversión agrícola se encuentra en zonas áridas, así como en la ganadería extensiva y semi-intensiva. Las áreas dominadas por pastos se han dedicado a la producción de terneros para la exportación. Este sistema de desarrollo produce una gran cantidad de residuos agrícolas, genera desempleo rural y deja grandes extensiones de tierra sin medios para riego, con mal tiempo, fuentes de agua deficientes y cuya flora no favorece el desarrollo de la ganadería extensiva. Los residuos agrícolas, la mano de obra disponible y el matorral, han sido las bases para la persistencia y sostenibilidad de un tipo de sistema ganadero caprino semi-intensivo (4).

Segun Yusuf et al (22), el sistema semi-intensivo es utilizado por pequeños productores nigerianos para producir carne y leche, en sus rebaños algunos tienen tanto cabras como ovejas, alimentan a sus animales a través del pastoreo y ramoneo, con suplementación (básica como el bloque de sal y los bloques multi-nutricionales). Asimismo, el sistema de producción influye en la cantidad y composición de la leche en cabras, observándose una mayor producción en el sistema de producción silvopastoril semi-intensivo, lo que puede atribuirse a una mejor selección de los forrajes por parte de los ruminates (25).

Las condiciones de producción semi-intensivas e intensivas pueden garantizar que los requerimientos de alimento y agua de los animales se satisfagan más fácil o eficientemente (además de estar protegidos de climas extremos). A diferencia de los sistemas intensivos, la sociedad considera que los sistemas extensivos o de pastoreo, permiten un mayor bienestar animal, pero la variación estacional y la presencia o ausencia de precipitaciones pueden conducir a una baja producción de forrajes, y consecuentemente, reducciones drásticas en la producción y condición corporal de los animales que pastorean en estos pastizales (20,25), un problema que no se da en un sistema intensivo ya que la alimentación tiene como objetivo mantener altos niveles de producción.

Sistema extensivo

En este sistema, las cabras y ovejas pastan y ramonean libremente con o sin supervisión. La principal ventaja de estos sistemas es que convierten material vegetal fibroso como pasto, hojas de árboles y arbustos con potencial forrajero en productos útiles para el ser humano y así le permiten vivir en ecosistemas que no son viables para la agricultura como regiones áridos y semiáridos (26). Asimismo, el venado cola blanca realizado desde su hábitat natural y la explotación de la especie es históricamente con fines cinegéticos (27).

Basados completamente en los pastizales, en África, los pastores se trasladan de una parte a otra en busca de lugares con más vegetación (28). Este movimiento migratorio es de dos tipos: nomadismo y trashumancia. Los nómadas se trasladan de un lugar a otro con sus rebaños, mientras que los trashumantes son aquellos con asentamientos permanentes a los que regresan tras pasar largos periodos de tiempo en otros lugares con sus rebaños en busca de alimento y agua. Los sistemas extensivos de producción de carne de caprino y ovino que se alimentan de forrajes y pasturas aumentan la rentabilidad para los productores, a pesar de que su sostenibilidad y productividad varían debido a los cambios estacionales y climáticos junto con el contenido de nutrientes del forraje, según lo informado por Herrera et al (13), para la producción de carne de cabra.

En países donde los sistemas de producción se basan en sistemas de pastoreo y semi-intensivos, como Nueva Zelanda, la aportación del ganado a las emisiones de GEI es considerablemente

mayor (29). En las regiones semiáridas se utilizan especies leguminosas y no leguminosas que son consumidas mediante ramoneo según la temporada y la disponibilidad de forraje (30), debido a su contenido relativamente alto en nutrientes durante todo el año y porque contienen niveles satisfactorios de proteínas y minerales, al tiempo que mantienen o mejoran la disponibilidad de pastizales (31,32). Sin embargo, los árboles y arbustos leguminosos contienen una mayor variedad de metabolitos secundarios de las plantas (MSP), como los taninos, la presencia de estos compuestos podría presentar un desafío para su consumo como recurso alimenticio (33). Los efectos negativos de los MSP se deben a que pueden reducir el consumo de alimento y la utilización de nutrientes, y como consecuencia disminución del desempeño productivo de los rebaños, en general. Un alto contenido de MSP puede afectar el uso de energía metabolizable y la proteína (34), aunque se ha demostrado que niveles moderados de MSP no afectaron excesivamente la degradación del follaje de arbustos y árboles tropicales por parte de pequeños rumiantes (35).

Ha sido reportado que las hojas de algunos árboles y arbustos con potencial forrajero muestran un bajo potencial de producción de metano (CH_4) y podrían utilizarse como alternativa para la mitigación de GEI en sistemas de producción semi-extensivos y extensivos de pequeños rumiantes en países en vías desarrollo (36) y dentro del sistema extensivo, el sistema silvopastoril (SSP) integra altas densidades de árboles y arbustos forrajeros, para incrementar la productividad y mejorar la calidad nutricional del forraje, buscando ser productivo durante todo el año bajo un manejo adecuado. Entonces se infiere que los SSP ofrecen una mayor cantidad de forraje y de mejor calidad en relación a los sistemas extensivos habituales, aunque existen variaciones en la disponibilidad de biomasa durante el año, el aporte de forraje es suficiente para cubrir los requerimientos de los rumiantes (37).

Azuara-Morales et al (15), demostraron que la disponibilidad de forraje aumentó en el estudio de un SSP con dos densidades de Guaje (*Leucaena leucocephala*) asociado a pasto Pangola (*Digitaria eriantha*), y bajo un sistema de pastoreo Voisin con ovejas. Las concentraciones de proteína cruda (PC) de ambos pastos (86-118 g kg^{-1} MS) y Guajes (234-247 g kg^{-1} MS) estuvieron en el rango de su especie, este protocolo de manejo mantiene la disponibilidad de forraje durante todo el año, incluso con una estación seca prolongada (aunque la lluvia es un factor importante para la recuperación de la planta), contribuye al mantenimiento de la biomasa forrajera sin el uso de riego o fertilizantes químicos, además el uso de Guaje se ha asociado con la reducción de emisiones de CH_4 del ganado (38). También, Pent y Fike (16) reportaron que el ramoneo en clima templado y frío bajo un SPS con *Gleditsia triacanthos* (que produce vainas nutritivas que podrían servir como forraje suplementario), en un pastoreo invernal de 6 semanas mostró más PC, disponibilidad de forraje y ganancia de peso diario (Tabla 1). Junto con lo anterior, SPS con *G. triacanthos*, incorpora servicios ecosistémicos (infiltración de agua, ciclo de nutrientes y secuestro de carbono) y los árboles pueden proporcionar sombra, protección y ramoneo.

Se ha reportado que el pastoreo rotacional tiene un efecto positivo en la mejora de las variables de infiltración de agua, mejor aprovechamiento del suelo y beneficios para la vegetación ya que permite la acumulación de materia orgánica. Lo anterior conduce a la incorporación de protocolos de manejo del pastoreo, como el pastoreo rotacional adaptativo con bajas densidades de ganado para permitir la sustentabilidad de la producción de forrajes para mantener las tasas de crecimiento de los rumiantes, al tiempo que brinda variabilidad espacio-temporal y múltiples servicios ecosistémicos (39). Asimismo, en la medida en que se utilicen gramíneas leguminosas asociadas con mayor densidad de árboles y arbustos como fuente de forraje, estos ayudan a almacenar carbono, fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico al suelo por las leguminosas, aumentan el bienestar y la producción animal (29,40), y de esta manera mejorar la sostenibilidad del sistema. La intensificación de las prácticas agro-pastorales se ve como una forma de reducir la presión sobre los bosques nativos (41), causada por el aumento de la agricultura intensiva que se incentiva por una mayor expansión del uso de monocultivos y el pastoreo incidiendo en las fronteras forestales. En los sistemas de producción extensiva, los animales son libres de moverse, lo que permite mejores actividades fisiológicas y funciones de comportamiento. Sin embargo, el pastoreo también puede afectar negativamente el bienestar, debido a las fluctuaciones estacionales en la cantidad y calidad de la fuente de forraje; en consecuencia, los animales en pastoreo generalmente están sujetos a estrés nutricional

estacional (21), una pobre nutrición da como resultado bajas tasas de reproducción, altas tasas de mortalidad y baja producción de carne, leche y crías sanas (42).

Calidad de agostaderos

Los agostaderos son extensiones naturales de tierra que funcionan como fuente de alimento para rumiantes domésticos o silvestres que involucran la relación de pastizales, arbustos y árboles que consumen mientras estos pastorean en estas áreas, el pastoreo es una herramienta importante en países con grandes áreas de pastizales como Australia según McKeon et al (43), la productividad se basa en el manejo y tipo de ganado, condiciones climáticas, tipo de suelo, elevación y topografía. Asociado a los conceptos de sistemas semi-intensivos y extensivos, el pastoreo se utiliza para maximizar u optimizar los valores de la biodiversidad en el manejo de reservas naturales, mientras que en el manejo de pastizales, su objetivo es maximizar la producción animal (44).

Capacidad de carga animal

El coeficiente de pastoreo es un índice que expresa el número de hectáreas (ha) necesarias para mantener una unidad animal por un período determinado de permanencia del ganado en el área, lo que resulta en la capacidad de carga del ganado (CCA), de acuerdo con Villarruel-Sahagún et al (10), con información de la "Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero de México. Pero existe la necesidad de conocer la sostenibilidad, manteniendo un cierto nivel de estabilidad del ecosistema, esto es impulsado por la presión, composición y régimen de pastoreo, por lo que existen otros métodos para determinar el CCA (Tabla 2), como el sugerido por Johnston et al (45), quien definió la capacidad de carga animal "segura".

El cálculo de la CCA implica estimaciones de la producción y el nivel seguro de utilización del forraje (43). El modelo anterior podría aplicarse al pastoreo principalmente en áreas de pastizales, pero con la capacidad de los pequeños rumiantes para ramonear las hojas de árboles y arbustos, el modelo descrito por Holechek et al (46), considera la superficie, la biomasa disponible de árboles, arbustos, herbáceas y pastizales, el peso promedio del animal y el porcentaje de cada especie en la dieta, por lo tanto, puede ser más exitoso en sistemas extensivos con un complemento silvopastoril.

En un estudio previo de Ebrahimi et al (44), se incluye el impacto de otros factores de corrección como lo son el "índice de palatabilidad" y su relación con el "coeficiente de cosecha", el resultado del modelo muestra un mayor nivel de complejidad, también incluyó , otros coeficientes de reducción como obstáculos de los arbustos, pendientes pronunciadas y distancia de la fuente de agua. Determinó que un coeficiente de cosecha alto, cuando la vegetación tiene un índice de palatabilidad bajo, resulta en un CCA baja. El uso de estos coeficientes en modelos puede ayudar a la protección de especies vegetales apetecibles pero vulnerables, determinado un bajo CCA o revertir la invasión de pastos o matorrales, con incrementando las densidades de pastoreo temporalmente (47).

La incorporación de sistemas de información geográfica, para determinar distancias, orografía del terreno e incluso el volumen de los árboles, pueden ser herramientas útiles (48). En cualquier caso, se trata de adaptaciones aplicadas en mayor o menor medida a los modelos mencionados, para un mejor conocimiento del ecosistema, la calidad de las especies y una clara definición de los objetivos que conducirán a la determinación de la CCA adecuada a mantener la sustentabilidad del sistema productivo.

Tabla 2. Modelos para el cálculo de la capacidad de carga animal.

Modelo	Descripción	Observaciones	Autor
CCA=D/(UA*t)	Dónde, CCA; capacidad de carga animal, D; Producción de forraje o biomasa en kg MS/Ha, UA; Unidad animal, t; período de permanencia del ganado en los agostaderos.	UA generalmente es representada por una vaca de 450-500 kg con becerro que consume el 3% de su PV en MS, en el caso de cabras/ ovejas se usa la equivalencia de UA = 0.20, y en venado cola blanca adulto su UA = 0.15.	Azuara-Morales et al (15)
CCA "Segura" (UA/D) = [Cantidad de forraje que puede ser consumida de manera segura (kg/ha/año) / CVA (kg/ha/año)] x tamaño del agostadero (ha)	Donde, UA; unidad animal, D; Disponibilidad de MS del sistema de uso de la tierra, Cantidad de forraje que se puede consumir de manera segura (kg/ha/año) = [Nivel seguro de utilización de forraje (%) / 100] x Promedio anual de forraje cultivado (kg/ha/año). CVA; consumo voluntario de alimento.	Capacidad de carga animal "segura" definida como; el número de UA o su equivalente, que puede soportar un área de distribución o agostadero a largo plazo sin ninguna disminución en la condición de los pastos y sin una erosión acelerada del suelo.	Johnston et al (45)DSE
K = (D) (CC= 0.35) (A)/(PV)(CVA)(CP)	Donde, K; corresponde al valor de la capacidad de carga, D; disponibilidad de MS, por estrato vegetal (kg/ha), CC; (coeficiente de cosecha o porcentaje de utilización del forraje) = 0.35, A; área de estudio, PV; peso vivo del animal, CVA; consume voluntaria de alimento, CP; ciclo de pastoreo (365 días).	El "CC" es un factor que agrega el uso adecuado al rumiante o corrección por la condición del hábitat y los objetivos específicos de manejo, en este caso "0.35" es para venado cola blanca	Holechek et al (46)

Ha; hectárea, MS; materia seca.

Sustentabilidad

La sustentabilidad de un sistema de producción debe estar relacionada con un patrón de uso que preserve el medio ambiente y las necesidades de la sociedad puedan ser satisfechas no solo en el presente, sino también en las generaciones futuras (24). Los sistemas intensivos pueden mantener la producción, pero su efecto sobre el medio ambiente requiere acciones específicas, por otro lado, los sistemas de producción extensiva también tienen limitaciones reales y potenciales para responder a la demanda impuesta por las necesidades y percepción del consumidor (21). El pastoreo sin control, debido al desconocimiento de la producción de biomasa de los agostaderos, puede provocar la proliferación de especies no consumidas por los rumiantes, la degradación del suelo y la pérdida de cobertura vegetal. En consecuencia, la CCA debe calcularse en base a programas actualizados de caracterización y seguimiento ambiental (10), donde se identifiquen los períodos de crecimiento, la preservación de las especies consumidas, así como evitar el sobrepastoreo y aprovechar adecuadamente los niveles de producción de biomasa. La mejora del sistema de uso del agostadero debe incluir la recuperación de la productividad de las plantas y del forraje más allá de la temporada de lluvias (15).

Así como el manejo y cuidado de las áreas naturales, el pastoreo, puede evitar el predominio de árboles y arbustos, esto genera oportunidades para la fitocenosis asociada al ecosistema. Los mismos bosques se benefician del pastoreo según lo informado Ruiz-Mirazo y Robles (47), que el pastoreo de ovejas redujo la biomasa vegetal que podría funcionar como combustible en incendios forestales en bosques de encinos (*Quercus rotundifolia*), aunque aumentó el suelo desnudo, debido a un déficit de lluvia, esto se puede corregir con una estimación correcta de la CCA y esto apenas produjo cambios en la composición botánica y diversidad de forrajes. Muchos paisajes se mantienen mediante una combinación de pastoreo y trabajo humano directo para mantener su ganado (11).

Los cereales son cada vez más necesarios para la nutrición humana y aumentan el precio de la alimentación de los animales (49). Los pequeños rumiantes pueden formar parte de un sistema sustentable para el futuro, su producción puede

basarse en forrajes más fibrosos no comestibles para los humanos, asegurando que cumplen con sus requerimientos nutricionales (50), por ejemplo, la dieta del venado cola blanca, en diferentes ecosistemas está compuesta por un 55% de arbustos, 30% de árboles, 13% de hierbas y 2.0-1.0% de pastos (51,52). Utilizando y manteniendo estos recursos se pueden brindar servicios ecosistémicos a ciudades y comunidades (16,40) y los pequeños rumiantes pueden producir carne, leche, lana e incluso pieles para la sociedad.

Los medios de comunicación globales y la web están provocando cambios sociales más rápido que en cualquier otro momento de la historia. Las nuevas generaciones aspiran al nivel de vida de los países más desarrollados y ya no quieren vivir en comunidades rurales. Aunque los sistemas extensivos de cabras y ovejas pueden ser ecológicos, sus retornos al trabajo son bajos y no están produciendo los niveles de ingresos para sostener a la próxima generación, lo que lleva a la migración a las grandes ciudades, el abandono de los lugares nativos y la desaparición de los rebaños (24). La preocupación de algunos investigadores por el futuro de los sistemas rurales en el norte y sur de Europa, siendo también un problema en las zonas rurales de México, donde se encuentran los rebaños de cabras y ovejas (4,5). Proporcionar subsidios y asesoramiento técnico es necesario para preservar los sistemas rurales y así disminuir las preocupaciones sobre si la próxima generación de criadores de cabras y ovejas estarán dispuestas a continuar esta tradición en sus lugares de origen.

Aunque, los sistemas extensivos y semi-intensivos, especialmente los SSP, un prototipo de agroforestería con componente pecuario, que se puede categorizar como producción limpia, ya que brindan una variedad de bienes y servicios a la sociedad, como la mitigación del cambio climático (40,53). Los sistemas de producción ganadera intensiva han sido asociados con importantes problemas ambientales derivados de las altas densidades de animales, manejo del estiércol, problemas de calidad del agua, transmisión de enfermedades y los sistemas de producción intensiva de monocultivos para abastecer estas unidades productivas y a la sociedad, enfrentan amenazas del suelo, calidad de las aguas superficiales o subterráneas, pérdida de biodiversidad debido a los monocultivos y otros problemas ambientales (40).

A pesar de eso, el aumento de la población humana y la urbanización promueven la reducción del área disponible para el pastoreo ya sea en un sistema de producción tradicional o silvopastoril, por lo que el sistema intensivo se está convirtiendo paulatinamente en la opción más viable en el futuro para satisfacer las necesidades de la población (42,54). La producción de GEI, otro de los principales impactos ambientales atribuidos a la producción ganadera, estos gases contribuyen al calentamiento global, que a su vez, afecta los sistemas de producción de los pequeños rumiantes provocando reducción de la producción de carne y leche por estrés por calor, desequilibrios de metabolitos (glucosa y minerales) y transmisión de enfermedades emergentes y parasitarias (3). El CH_4 y N_2O provienen de la fermentación entérica de carbohidratos y el manejo del estiércol y el CO_2 de la respiración. En los pequeños rumiantes, la emisión de CH_4 está relacionada con la fermentación entérica y la acumulación de excretas, mientras que el N_2O parece depender solo de la producción de heces (55). La agricultura y la ganadería aportan el 47% de las emisiones antropogénicas de CH_4, siendo los rumiantes responsables del 39% de las emisiones de metano entérico, de las cuales el ganado bovino aporta el 77%, los búfalos el 13% y los pequeños rumiantes el 10%. Se estima que los rumiantes silvestres oscilan entre el 2.5 y el 7.7% de CH_4 y que muestra un potencial de calentamiento global entre 25-34 veces mayor que el CO_2 (56,57). Por su parte, el N_2O tiene un potencial de calentamiento 298 veces mayor que el CO_2 en un horizonte temporal de 100 años, pero debido a la menor cantidad producida, su efecto es menor que el del CH_4, aun así, también agota el ozono estratosférico y se espera que continúe durante todo el siglo (12,57). Los sistemas de producción también pueden afectar las emisiones de GEI, pastoreo (rumiantes), semi-intensivo (rumiantes) e intensivo (incluye rumiantes y monogástricos) representan 30.5, 67.29 y 5.51% para la emisión total de CH_4 (proveniente de fermentación entérica y manejo de estiércol) y 24.32, 68.11 y 7.57% para N_2O, respectivamente (12). La huella de carbono es un método cada vez más importante para comunicar los impactos de la producción sobre el cambio climático (3).

En general, los bovinos son el mayor emisor de GEI con alrededor de 5.0 gigatoneladas de $CO_{2\text{-eq}}$, que representan el 62% de todas las emisiones. Los bovinos de carne y lechero emiten cantidades similares de GEI. Los cerdos,

las aves de corral, los búfalos y los pequeños rumiantes tienen niveles de emisión más bajos, representando entre el 7% y el 11% de las emisiones totales (9,58). En cuanto al producto final, la carne y la leche de bovino son los mayores emisores: 2.9 y 1.4 gigatoneladas de CO_{2-eq}, respectivamente, cerdo (0.7 gigatoneladas de CO_{2-eq}), leche y carne de búfalo (0.6 gigatoneladas de CO_{2-eq}), carne de pollo y huevos (0.6 gigatoneladas de CO_{2-eq}) y carne y leche de pequeños rumiantes (0.4 gigatoneladas de CO_{2-eq}) (9,58), los productos de oveja y cabra se muestran como los más eficientes en la relación kg de producto/ CO_{2-eq}. En general, la mayor productividad y eficiencia de los pequeños rumiantes puede ser una herramienta prometedora para reducir la cantidad de CO_{2-eq} por kg de leche o carne, pero los programas de mejoramiento genético, la incorporación de concentrados más solubles, leguminosas arbóreas y arbustivas o cultivos (como el trébol o la alfalfa) que reducen la emisión de GEI y el uso de otros aditivos (aminoácidos libres, grasas e ionóforos) en las dietas, deben tenerse en cuenta como otras alternativas para reducir las emisiones de GEI (12,18,19,40).

El definir las propiedades climáticas, geográficas y sociales otorgara las herramientas para determinar, si el sistema intensivo, semi-extensivo o extensivo es el más adecuado para el desarrollo productivo de ovinos, caprinos y venado cola blanca según sus características fisiológicas y las necesidades de consumo de cada región. Enfocado en lo básico, un sistema intensivo debe garantizar alimento, agua, espacio, descanso y sombra, manteniendo la productividad con una perspectiva ambiental y de bienestar animal. El conocimiento de las propiedades físicas y químicas de forrajes, pastizales, hojas de árboles y arbustos, para desarrollar mejores programas de nutrición, tanto para sistemas intensivos como extensivos, puede ayudar a incrementar la productividad y mitigar la producción de GEI, lo cual debe ser siempre un objetivo, incluso con la demostrada eficiencia productiva de los pequeños rumiantes. Sin embargo, es necesario actualizar los coeficientes de pastizales para cada región y así poder hacer un uso sostenible de los pastizales, gestionar el ecosistema y maximizar la producción, desde esta perspectiva, el futuro del uso sostenible de los rumiantes puede ser la implementación de SSP que involucren el uso de pastizales, especies arbustivas y arbóreas, además de brindar servicios ecosistémicos como mejoramiento de la fertilidad del suelo, filtración de agua y aumento de la biomasa arbórea que contribuye al secuestro de carbono y la sustentabilidad de los sistemas productivos de los pequeños rumiantes.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses por el envío de este manuscrito.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ph.D. Roque Gonzalo Ramírez Lozano (†). También agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgar una beca de doctorado al primer autor.

REFERENCIAS

1. Haenlein GFW. Past, present, and future perspectives of small ruminant dairy research. J Dairy Sci. 2001; 84(9):2097–2115. https://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74655-3

2. Pulina G, Milán MJ, Lavín MP, Theodoridis A, Morin E, Capote J, et al. Invited review: Current production trends, farm structures, and economics of the dairy sheep and goat sectors. J Dairy Sci. 2018; 101(8):6715–6729. https://dx.doi.org/10.3168/jds.2017-14015

3. Marino R, Atzori AS, D'Andrea M, Iovane G, Trabalza-Marinucci M, Rinaldi L. Climate change: Production performance, health issues, greenhouse gas emissions and mitigation strategies in sheep and goat farming. Small Rumin Res. 2016; 135:50–59. https://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.12.012

4. Aréchiga F, Aguilera JI, Rincón RM, Méndez de Lara S, Bañuelos VR, Meza-Herrera CA. Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización. Trop Subtrop Agroecosys. 2008; 9(1):1–14. https://www.ccba.uady.mx/publicaciones/journal/vol-9-amca/Arechiga1.pdf

5. Díaz-Sánchez CC, Jaramillo-Villanueva JL, Bustamante-González Á, Vargas-López S, Delgado-Alvarado A, Hernández-Mendo O, et al. Evaluation of the profitability and competitiveness of sheep production systems in the region of Libres, Puebla. Rev Mex de Cienc Pecu. 2018; 9(2):263–277. https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i2.4495

6. Herrera-Haro JG, Alvarez G, Bárcena-Gama R, Núñez-Aramburu JM. Caracterización de los rebaños ovinos en el sur de Ciudad de México, México. Acta Universitaria. 2019; 29:1–15. https://doi.org/10.15174/au.2019.2022

7. Gallina S, Mandujano S, Villarreal-Espino-Barros OA. Monitoreo y manejo del venado cola blanca: Conceptos y métodos. Instituto de Ecología: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla: México; 2014.

8. López-Soto JH, Badii MH. Depredación en crías de venado cola blanca (Odocoileus virginianus texanus) por coyote (Canis latrans) en una unidad de manejo y aprovechamiento del norte de Nuevo León, México. Acta Zool Mex. 2000; (81):135–138. https://doi.org/10.21829/azm.2000.81811877

9. Monteiro ALG, Faro AMC da F, Peres MTP, Batista R, Poli CHEC, Villalba JJ. The role of small ruminants on global climate change. Acta Sci Anim Sci. 2018; 40:1–11. https://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.43124

10. Villarruel-Sahagúna L, Troyo-Diéguez E, Gutiérrez-Ruacho OG, Nieto-Garibay A, Esqueda M, Ffolliot P, et al. Valoración hidro-ambiental y evaluación de coeficientes de agostadero mediante indicadores termo-pluviométricos. Rev Mex de Cienc Pecu. 2014; 5(2):143–156. https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/3221/3088

11. El Aich A, Waterhouse A. Small ruminants in environmental conservation. Small Rumin Res. 1999; 34(3):271–287. https://doi.org/10.1016/S0921-4488(99)00079-6

12. Zervas G, Tsiplakou E. An assessment of GHG emissions from small ruminants in comparison with GHG emissions from large ruminants and monogastric livestock. Atmos Environ. 2012; 49:13–23. https://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.11.039

13. Herrera PZ, Bermejo JVD, Henríquez AA, Vallejo MEC, Costa RG. Effects of extensive system versus semi-intensive and intensive systems on growth and carcass quality of dairy kids. R Bras Zootec. 2011; 40(11):2613–2620. https://doi.org/10.1590/S1516-35982011001100045

14. Echavarría-Chairez FG, Gutiérrez-Luna R, Ledesma-Rivera RI, Bañuelos-Valenzuel R, Aguilera-Soto JI, Serna-Pérez A. Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un agostadero del semiárido Zacatecano. I Vegetación nativa. Rev Mex Cienc Pecu. 2006; 44(2):203–217.

15. Azuara-Morales I, López-Ortiz S, Jarillo-Rodríguez J, Pérez-Hernández P, Ortega-Jiménez E, Castillo-Gallegos E. Forage availability in a silvopastoral system having different densities of *Leucaena leucocephala* under Voisin grazing management. Agroforest Syst. 2020; 94:1701–1711. https://doi.org/10.1007/s10457-020-00487-5

16. Pent GJ, Fike JH. Lamb productivity on stockpiled fescue in honeylocust and black walnut silvopastures. Agroforest Syst. 2019; 93(1):113–121. https://doi.org/10.1007/s10457-018-0264-0

17. Ramírez-Torres J. Caracterización de un método de crianza intensiva de cervatillos (*Odocoileus virginianus texanus*). Rev. Chapingo ser. 2011; 10(2):141–145.

18. Niderkorn V, Martin C, Rochette Y, Julien S, Baumont R. Associative effects between orchardgrass and red clover silages on voluntary intake and digestion in sheep: Evidence of a synergy on digestible dry matter intake. J Anim Sci. 2015; 93(10):4967–4976. https://doi.org/10.2527/jas.2015-9178

19. Bonilla-Cárdenas JA, Lemus-Flores C. Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Revisión. Rev Mex Cienc Pecu. 2012; 3(2):215–246. https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1241/1236

20. Gallo CS, Tadich TG. Perspective from Latin America. In: Advances in Agricultural Animal Welfare. Science and Practice: Elsevier Ltd; 2017. https://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-101215-4.00011-0

21. Montossi F, Font-i-Furnols M, del Campo M, San Julián R, Brito G, Sañudo C. Sustainable sheep production and consumer preference trends: Compatibilities, contradictions, and unresolved dilemmas. Meat Sci. 2013; 95(4):772–789. https://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.048

22. Yusuf A, Aruwayo A, Muhammad I. Characterisation of Small Ruminant Production Systems in Semi-Arid Urban Areas of Northern Nigeria. J Appl Sci Environ Manage. 2018; 22(5):725–729. https://dx.doi.org/10.4314/jasem.v22i5.18

23. Fernández M., Castillo-Juárez H., González-Montaña J. R., Fernández F. J., Castañeda Vázquez H., Saltijeral-Oaxaca J. A. Somatic cell counts and quality of goat milk produced in the central region of Mexico. Res J Dairy Sci. 2008; 2(2):45–50. https://medwelljournals.com/abstract/?doi=rjdsci.2008.45.50

24. Peacock C, Sherman DM. Sustainable goat production-Some global perspectives. Small Rumin Res. 2010; 89(2–3):70–80. https://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.029

25. Rúa B C, Rosero N R, Posada O S. Efecto del sistema de producción sobre producción de leche y consumo de alimento en cabras. Rev MVZ Córdoba. 2017; 22(3):6266–6275. https://doi.org/10.21897/rmvz.1131

26. Estell RE, Havstad KM, Cibils AF, Fredrickson EL, Anderson DM, Schrader TS, et al. Increasing shrub use by livestock in a world with less grass. Rangel Ecol Manag. 2012; 65(6):553–562. https://dx.doi.org/10.2111/REM-D-11-00124.1

27. Retana-Guiascón ÓG, Lorenzo C. Valor cinegético y cultural del venado Cola Blanca en México. Etnobiología. 2016; 14(3):60–70. https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/147

28. Assouma MH, Lecomte P, Hiernaux P, Ickowicz A, Corniaux C, Decruyenaere V, et al. How to better account for livestock diversity and fodder seasonality in assessing the fodder intake of livestock grazing semi-arid sub-Saharan Africa rangelands. Livest Sci. 2018; 216:16–23. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.07.002

29. Leahy SC, Kearney L, Reisinger A, Clark H. Mitigating greenhouse gas emissions from New Zealand pasture-based livestock farm systems. J NZ Grassl. 2019; 81:101–110. https://doi.org/10.33584/jnzg.2019.81.417

30. Foroughbakhch R, Hernández-Piñero JL, Carrillo-Parra A, Rocha-Estrada A. Composition and animal preference for plants used for goat feeding in semiarid Northeastern Mexico. J Anim Plant Sci. 2013; 23(4):1034–1040. https://www.thejaps.org.pk/docs/v-23-4/14.pdf

31. Chávez-Espinoza M, González-Rodríguez H, Cantú-Silva I, Cotera-Correa M, Estrada-Castillón AE, Bernal-Barragán H, et al. Foliar mineral content of five shrub species with nutritional potential for small ruminants in semiarid regions in northeastern Mexico. Ciênc Rural. 2020; 50(10):1–11. https://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20200202

32. Chávez-Espinoza M, Bernal-Barragán H, Vásquez-Aguilar NC, Cantú-Silva I, Cotera-Correa M, Estrada-Castillón AE, et al. Cell-wall composition and digestibility of five native shrubs of the Tamaulipan Thornscrub in Northeastern Mexico. Trop Subtrop Agroecosys. 2021; 24(1):15. https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3447/1506

33. Guerrero M, Cerrillo-Soto MA, Ramírez RG, Salem AZM, González H, Juárez-Reyes AS. Influence of polyethylene glycol on *in vitro* gas production profiles and microbial protein synthesis of some shrub species. Anim Feed Sci Technology . 2012; 176(1–4):32–39. https://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.005

34. Camacho LM, Rojo R, Salem AZM, Mendoza GD, López D, Tinoco JL, et al. *In vitro* ruminal fermentation kinetics and energy utilization of three Mexican tree fodder species during the rainy and dry period. Anim Feed Sci Technol. 2010; 160(3–4):110–120. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.07.008

35. Belachew Z, Yisehak K, Taye T, Janssens GPJ. Chemical composition and *in sacco* ruminal degradation of tropical trees rich in condensed tannins. Czech J Anim Sci. 2013; 58(4):176–192. https://doi.org/10.17221/6712-CJAS

36. Pal K, Patra AK, Sahoo A, Kumawat PK. Evaluation of several tropical tree leaves for methane production potential, degradability and rumen fermentation *in vitro*. Livest Sci. 2015; 180:98–105. https://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2015.07.011

37. Gaviria X, Rivera JE, Barahona R. Calidad nutricional y fraccionamiento de carbohidratos y proteína en los componentes forrajeros de un sistema silvopastoril intensivo. Pastos y Forrajes. 2015; 38(2):194–201. https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1838

38. Molina IC, Donney's G, Montoya S, Rivera JE, Villegas G, Chará J, et al. The inclusion of *Leucaena leucocephala* reduces the methane production in lucerne heifers receiving a *Cynodon plectostachyus* and *Megathyrsus maximus* diet. Livest Res Rural Develop. 2015; 27(5):1–8. http://www.lrrd.org/lrrd27/5/moli27096.html

39. Augustine DJ, Derner JD, Fernández-Giménez ME, Porensky LM, Wilmer H, Briske DD. Adaptive, Multipaddock Rotational Grazing Management: A Ranch-Scale Assessment of Effects on Vegetation and Livestock Performance in Semiarid Rangeland. Rangeland Ecol Manag. 2020; 73(6):796–810. https://doi.org/10.1016/j.rama.2020.07.005

40. Nahed-Toral J, Valdivieso-Pérez A, Aguilar-Jiménez R, Cámara-Cordova J, Grande-Cano D. Silvopastoral systems with traditional management in southeastern Mexico: A prototype of livestock agroforestry for cleaner production. J Clean Prod. 2013; 57:266–279. https://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.020

41. de Oliveira BR, Carvalho-Ribeiro SM, Maia-Barbosa PM. Rio Doce State Park buffer zone: forest fragmentation and land use dynamics. Environ Dev Sustain. 2021; 23, 8365–8376. https://doi.org/10.1007/s10668-020-00969-7

42. McDermott JJ, Staal SJ, Freeman HA, Herrero M, Van de Steeg JA. Sustaining intensification of smallholder livestock systems in the tropics. Livest Sci. 2010; 130(1–3):95–109. https://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.014

43. McKeon GM, Stone GS, Syktus JI, Carter JO, Flood NR, Ahrens DG, et al. Climate change impacts on northern Australian rangeland livestock carrying capacity: A review of issues. Rangel J. 2009; 31(1):1–29. https://doi.org/10.1071/RJ08068

44. Ebrahimi A, Milotić T, Hoffmann M. A herbivore specific grazing capacity model accounting for spatio-temporal environmental variation: A tool for a more sustainable nature conservation and rangeland management. Ecol Model. 2010; 221(6):900–910. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.12.009

45. Johnston P, Tannock P, Beale I. Objective `Safe' Grazing Capacities for South-West Queensland Australia: Model Application and Evaluation. Rangel J. 1996; 18(2):259–269. https://doi.org/10.1071/RJ9960259

46. Holechek JL, Pieper RD. Herbel CH. Range management: principles and practices. 2nd ed. Prentice-Hall Englewood Cliffs, New Jersey USA; 1995.

47. Ruiz-Mirazo J, Robles AB. Impact of targeted sheep grazing on herbage and holm oak saplings in a silvopastoral wildfire prevention system in south-eastern Spain. Agroforest Syst. 2012; 86:477–491. https://doi.org/10.1007/s10457-012-9510-z86(3):477–91

48. Store R, Jokimäki J. A GIS-based multi-scale approach to habitat suitability modeling. Ecol Model. 2003; 169(1):1–15. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(03)00203-5

49. Bernués A, Ruiz R, Olaizola A, Villalba D, Casasús I. Sustainability of pasture-based livestock farming systems in the European Mediterranean context: Synergies and trade-offs. Livest Sci. 2011; 139(1–2):44–57. https://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.018

50. Kara K. The in vitro digestion of neutral detergent fibre and other ruminal fermentation parameters of some fibrous feedstuffs in Damascus goat (Capra aegagrus hircus). J Anim Feed Sci. 2019; 28(2):159-168. https://doi.org/10.22358/jafs/108990/2019

51. Ramírez RG, Quintanilla JB, Aranda J. White-tailed deer food habits in northeastern Mexico. Small Rumin Res. 1997; 25(2):141–146. https://doi.org/10.1016/S0921-4488(96)00960-1

52. Navarro-Cardona JA, Olmos-Oropeza G, Palacio-Núñez J, Clemente-Sánchez F, Vital-García C. Dieta, población y capacidad de carga del venado cola blanca (Odocoielus virginianus) en dos condiciones de hábitat en Tlachichila, Zacatecas, México. AP. 2018; 11(6):15-23. https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/421

53. Jose S, Dollinger J. Silvopasture: a sustainable livestock production system. Agroforest Syst. 2019; 93(1):1–9. https://doi.org/10.1007/s10457-019-00366-8

54. Asante BO, Villano RA, Battese GE. Integrated crop-livestock management practices, technical efficiency and technology ratios in extensive small-ruminant systems in Ghana. Livest Sci. 2017; 201:58–69. https://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2017.03.010

55. O'Mara FP. The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. Anim Feed Sci Techn. 2011; 166–167:7–15. https://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.074

56. Hristov AN. Historie, pre-European settlement, and present-day contribution of wild ruminants to enteric methane emissions in the United States. J Anim Sci. 2012; 90(4):1371–1375. https://doi.org/10.2527/jas.2011-4539

57. Piñeiro-Vázquez AT, Canul-Solís JR, Alayón-Gamboa JA, Chay-Canul AJ, Ayala-Burgos AJ, Aguilar-Pérez CF, et al. Potential of condensed tannins for the reduction of emissions of enteric methane and their effect on ruminant productivity. Arch Med Vet. 2015; 47(3):263–272. http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2015000300002

58. Patra AK. Trends and projected estimates of GHG emissions from indian livestock in comparisons with GHG emissions from world and developing countries. Anim Biosci 2014; 27(4):592-599. https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13342

View publication stats