

Cambios en la vegetación, propiedades del suelo y tasa de infiltración en un agostadero del norte de México, excluido del pastoreo durante 25 años

Vegetation, soil and infiltration rate change after 25 years of livestock grazing exclusion on a scrubland in northern Mexico

Eliseo Bernabel Suárez-Hernández¹, José Eduardo García-Martínez^{2*}, Miguel Mellado-Bosque², José Dueñez-Alanís³

¹Alumno del Programa de Posgrado en Producción Agropecuaria. ²Departamento de Nutrición Animal. ³Departamento de Recursos Naturales Renovables. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315, Saltillo, Coah., México. Tel.: +52-844-411 0324. E-mail: egarcia@uaaan.mx [*Autor responsable].

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar el efecto de 25 años de exclusión del pastoreo y la eliminación de los arbustos sobre la producción de materia seca, composición química del suelo y tasa de infiltración, en un matorral parvifolio inerme en el norte de México. Se utilizaron cuatro bloques (10 x10 m), dentro de los cuales se establecieron 16 parcelas de 1 x 1 m. Dos bloques fueron excluidos al pastoreo permanentemente durante 25 años, en tanto que los otros dos bloques fueron pastoreados por equinos, ovinos, bovinos y caprinos. Se realizaron muestreos y mediciones de las diferentes variables durante verano, otoño, primavera e invierno (2012-2013). Para coleccionar las muestras de vegetación se usó el método del cuadrante, con las áreas de corte (núcleos). Las muestras de suelo se tomaron con el extractor de núcleo, a 0-30 cm de profundidad, de la esquina externa de cada parcela. La infiltración se evaluó mediante el método de los cilindros infiltrómetros de doble anillo, los cuales se distribuyeron de manera aleatoria. Para el análisis de datos se usó el procedimiento PROC MIXED de SAS. En el modelo fueron incluidos: efectos de estación, bloque, sitio (exclusión del pastoreo vs. libre pastoreo) y las interacciones sitio x estación del año. Se presentó una menor producción de forraje en el sitio excluido del pastoreo (rango 543±170-2702±137 kg ha⁻¹, según estación del año; P<0.05) que en el sitio de pastoreo permanente (907±92-2831±28 kg ha⁻¹). Se concluyó que la exclusión del pastoreo redujo mínimamente la producción de materia seca de la vegetación total, disminuyó considerablemente la fertilidad del suelo y no hubo cambios en la tasa de infiltración, que se mantuvo estable a pesar de la reducción de la cubierta vegetal en las áreas excluidas al pastoreo. Estos datos muestran que la eliminación de los arbustos, excepto *Atriplex canescens*, y la exclusión del pastoreo por más de dos décadas no incrementaron el forraje en este ecosistema árido.

Palabras clave: producción forrajera, propiedades del suelo, infiltración de agua, pastoreo, estaciones.

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the effect of 25 years of livestock grazing exclusion and removal of shrubs, except *Atriplex canescens*, on forage dry matter yield, soil properties and infiltration rate on a shrubland in northern Mexico. Four blocks (10 x10 m) were used, in which 16 plots of 1x1 m were established. Two blocks were permanently excluded from livestock grazing in the previous 25 years and the other two plots served as control (permanent grazing for decades). Sampling and measurements of different variables during summer, autumn, spring and winter (2012-2013) were conducted. To collect samples of vegetation the quadrant method was used, with the cutting areas (cores). Soil samples were taken at 0-30 cm depth using a core extractor which was placed in the outer corner of each plot (to avoid disruption of the plot). The infiltration was evaluated by the method of double ring infiltrometer cylinders, which were distributed randomly. Data were analyzed using the PROC MIXED procedure of SAS. In the model were included effects of season, block, site (grazing exclusion vs. permanent grazing) and site x season interaction. Total forage production was lower in the excluded site (range 543±170-2702±137 kg ha⁻¹, according to season of the year; P<0.05) compared to the control site (907±92-2831±28 kg ha⁻¹). We concluded that grazing exclusion reduced minimally dry matter production of total vegetation with a significant reduction in soil fertility, and no change in infiltration rate, despite the reduction in vegetation cover in the site where grazing was excluded. This data show that removal of shrubs, except *Atriplex canescens*, and livestock grazing exclusions altered little the biomass production in this arid ecosystem.

Key words: dry matter yield, soil properties, water infiltration rate, grazing, seasons.

INTRODUCCIÓN

Los pastizales de zonas áridas están considerados como los ecosistemas más amenazados y pocos conservados del mundo (ECOPAD, 2007). En diversos lugares, el pastoreo extensivo se considera como una amenaza para la conservación de la vegetación; sin embargo, éste juega un papel fundamental para el mantenimiento de los ecosistemas y sus efectos sobre las comunidades vegetales (Baraza y Valiente, 2012).

Actualmente, en el suroeste de Estados Unidos y el norte de México estos pastizales están siendo afectados por el cambio climático, el cual ocasiona modificaciones importantes en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Ignace *et al.*, 2007); aunado a lo anterior, las inapropiadas prácticas de ganadería como el pastoreo continuo y la excesiva carga animal en los agostaderos, causan el deterioro de los pastizales, lo que conduce a: cambios de la cobertura vegetal, aumento de la fragmentación del hábitat, alteración de la composición de especies vegetales, degradación del suelo y baja tasa de infiltración, lo que afecta la disponibilidad de forraje (Jones, 2000; Dinerstein *et al.*, 2000; Echavarría, *et al.*, 2007).

A pesar de los abundantes estudios sobre el efecto de la herbivoría de ganado en el proceso de vegetación, todavía no existe un consenso referente al cambio de la vegetación impulsado por la herbivoría. Los investigadores han documentado una mejoraría, un cambio débil o incluso efectos negativos (Fernández-Lugo, 2009).

Uno de los métodos más útiles para la conservación y el análisis de los efectos que los herbívoros tienen sobre la comunidad vegetal es la exclusión del ganado (Wesche *et al.*, 2010; Collard *et al.*, 2010). Sin embargo, pocos estudios se han centrado en el efecto tanto directo como indirecto sobre el pastoreo, en especial sobre los matorrales de zonas áridas y semiáridas del norte de México (Osorno-Sánchez, 2005). El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de 25 años de exclusión del pastoreo de ganado y la eliminación de los arbustos, excepto *Atriplex canescens*, sobre la producción de materia seca de la vegetación, el contenido de nutrientes del suelo y la tasa de infiltración en un matorral parvifolio inerme en el norte de México. La información anterior es necesaria para la planeación integrada de alternativas de uso y manejo sustentable de los recursos naturales. Una primera hipótesis fue que la exclusión del pastoreo de un matorral parvifolio inerme donde se eliminan las

arbustivas, excepto *Atriplex canescens*, puede reducir la producción de materia seca de la vegetación total; una segunda, que la exclusión de pastoreo puede modificar la composición de los nutrientes del suelo y la tasa de infiltración.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el Campo Experimental de Zonas Áridas Noria de Guadalupe de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), (24° 21' LN y 101° 02' LO), en el municipio de Concepción del Oro, Zac., México. El sitio de estudio cuenta con una superficie de 162 ha de tierras de temporal y con una pendiente aproximada de 2.28%. La precipitación se presenta en dos temporadas, separadas por una época seca y la media anual es de 290.6 mm. El mes de julio se considera como el mes más lluvioso y marzo como el más seco. La temperatura media anual es de alrededor de 14.8 °C, con heladas que principian en el mes de octubre, que llegan a alcanzar hasta 6 °C en este mes, aunque en enero pueden llegar hasta los -11 °C. Los suelos de la zona de estudio han sido clasificados como aridisol, de origen calcáreo, de textura franco-arcilla-arenosa y franca.

La vegetación en el área de estudio se ubica dentro de la zona reconocida ecológicamente como el Desierto Chihuahuense, donde se registra el matorral parvifolio inerme, con dominancia de especies como: costilla de vaca (*Atriplex canescens*), gobernadora (*Larrea tridentata*), hojasén (*Flourensia cernua*), *Opuntia spp.*, guayule (*Parthenium argentatum*) y mariola (*Parthenium incanum*). En algunas áreas de este tipo de vegetación se manifiesta la presencia de manchones con predominio de especies espinosas como la corona de Cristo (*Koeberlinia spinosa*) y mezquite (*Prosopis glandulosa*). En las últimas décadas, los pastos se han reducido principalmente por el pastoreo excesivo de bovinos, por lo que se supone que los cambios en la vegetación, hidrología y suelos los ha provocado, esencialmente, el pastoreo de rumiantes (Mellado *et al.*, 2005).

Diseño experimental y toma de muestras

Se ubicaron cuatro bloques, cada una con un tamaño de 10x10 m, y dentro de ellos se establecieron 16 parcelas de 1x1 m cada una: dos bloques se excluyeron permanentemente al pastoreo con cercas de malla, durante 25 años, en los que se eliminaron las

arbustivas, excepto *Atriplex canescens*, y los otros dos bloques control, durante el mismo lapso fueron pastoreados por especies de ganado doméstico y fauna silvestre, bajo gestión similar (carga animal y características ambientales). Los bloques se ubicaron separados entre sí a 100 m de distancia, y aisladas a un mínimo de 100 m de cualquier camino o brecha, para evitar el efecto de borde. Puesto que la escala de estudio juega un papel clave en investigaciones ecológicas (Wiens, 1989), el presente estudio de vegetación se realizó en superficies de muestreo diferentes.

En la esquina externa de las parcelas, con un extractor de núcleo se obtuvieron 80 muestras de suelo (20 por cada bloque), a 0-30 cm de profundidad. Las muestras se analizaron en el laboratorio de suelos de la UAAAN-Unidad Laguna para determinar el potencial de hidrógeno (pH), materia orgánica (MO%), nitrógeno total (NT%), cationes disponibles en miliequivalente/L⁻¹, sodio (Na⁺), Calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺), nitratos (NO₃- ppm), fósforo (Olsen P ppm), cobre (Cu mg/kg), hierro (Fe ppm) y zinc (Zn ppm). Para hacerlo se emplearon los métodos estándar de análisis de suelos (Anon, 1986 y AOAC, 1990).

Para las pruebas de infiltración se utilizó el método de los cilindros infiltrómetros de doble anillo. Se requirieron dos cilindros metálicos de alrededor de 30 cm de altura y de diámetro para el cilindro exterior de 45 cm y 25 cm para el interior; se midió la tasa de descenso del agua al 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 min. Para este estudio se realizaron cinco pruebas de infiltración en cada bloque, por lo que se realizaron 20 pruebas en total.

Los sitios se muestrearon al final de cada estación del año (2012-2013).

Análisis estadístico

La producción de materia seca de la vegetación total, *Atriplex canescens*, herbáceas, arbustivas y gramíneas de los sitios muestreados se analizaron con el procedimiento PROC MIXED de SAS. En el modelo fueron incluidos los efectos de estación de muestreo, bloque, sitio (exclusión del pastoreo vs. libre pastoreo) y las interacciones sitio x estación del año. La comparación de estaciones se llevó a cabo con el procedimiento PDIF dentro de medias de mínimos cuadrados de SAS.

Las variables del suelo (diversos minerales) se compararon entre sitios con el procedimiento PROC MIXED, en los que los efectos principales fueron: estación de muestreo, bloque y sitio. Se analizarán también las interacciones simples entre sitio y estación.

Las tasas de infiltración se determinaron con análisis de varianza en un sentido Proc GLM de SAS, y para detectar diferencias entre sitios y tiempos de infiltración se utilizó el procedimiento PDIF con medias de mínimos cuadrados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de biomasa

Las estimaciones de producción de materia seca de los arbustos, herbáceas, vegetación total y *Atriplex canescens* se presentan en el Cuadro 1. El sobrepastoreo bien puede provocar un aumento, una disminución o no tener efectos en producción de biomasa de las plantas (McNaughton, 1985; Terradas, 2001; Gillen y Sims, 2004). Los valores de materia seca registraron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para el efecto estación sobre los arbustos, herbáceas, vegetación total y *A. canescens*, dentro de las áreas excluidas al pastoreo, así como en las áreas de libre pastoreo, excepto para los pastos, estrato vegetal donde no se observó diferencia significativa para el efecto estación ($P > 0.05$); sin embargo, los valores para verano en el área de exclusión indican su máxima producción con una media de 617 ± 497 kg de MS ha⁻¹. Al respecto, Chávez (1986) menciona que animales adultos que pastorean en agostaderos con producciones de forraje por debajo de 150 kg MS ha⁻¹, presentan pérdida de peso corporal. Los valores para los pastos son cercanos a los reportados por Gutiérrez *et al.* (2007) en un estudio en pastizales medianamente abiertos en Zacatecas.

Para el efecto sitio se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en las herbáceas, pastos y vegetación total, aunque para las plantas arbustivas y *A. canescens* se manifestaron altamente significativas ($P < 0.01$). Los valores en rendimiento de materia seca para las arbustivas, en este caso fueron mayores en las áreas pastoreadas comparadas con las áreas de exclusión para todas las estaciones, pero más altas en verano y otoño, que fue cuando presentaron la mayor producción de materia seca con medias de 2730 ± 57 y 1568 ± 61 kg de MS ha⁻¹, respectivamente; para *A. canescens*, contrario a las arbustivas, estas presentaron una estimación mayor en las áreas de exclusión del pastoreo, donde obtuvo una producción media de $1,415 \pm 403$ kg de MS ha⁻¹ en verano y $1,095 \pm 35$ kg de MS ha⁻¹ en otoño. Estudios previos en esta misma localidad, realizados por Mellado *et al.* (2012), mostraron una producción mayor con

Cuadro 1. Producción de materia seca en kg ha⁻¹ para cada estrato vegetal en áreas de exclusión (durante 25 años) y de libre pastoreo en las cuatro estaciones del año, en el campo experimental Noria de Guadalupe, Zacatecas. Los valores son Medias ± Desviación estándar.

Estrato	Primavera		Verano		Otoño		Invierno		Efectos		
	E	P	E	P	E	P	E	P	Es	Si	In
Arbustos	1698±449	2730±57	1453±668	1568±61	475±261	990±14	25±205	990±170	**	**	NS
Herbáceas	388±88	100±84	31±41	85±7	1.0±1.4	1.5±0.7	21±27	1.5±0.7	**	*	**
Pastos	617±497	1±0	207±286	1±0	66±91	5.5±6.4	125±63	0.5±0.7	NS	*	NS
Vegetación total	2702±137	2831±28	1691±341	1653±53	543±170	907±9	571±68	992±171	**	*	NS
<i>A. canescens</i>	1415±403	1095±35	1050±99	528±131	380±141	210±57	390±170	225±163	**	**	NS

E=exclusión; P=pastoreo; Es=estación; Si=sitio; In=interacción; **P<0.01; *P<0.05 y NS= no significativo.

2281 kg MS ha⁻¹ en áreas de alta dominancia de *A. canescens* (área de exclusión), mientras que en áreas pastoreadas fue de 503 kg MS ha⁻¹ durante verano, pero con una precipitación media anual de 241 mm y con diez años de exclusión del pastoreo; mientras en este estudio se encontró una reducción del 62% en las áreas de exclusión, en tanto que para las áreas de pastoreo fue mayor en un 55%. Para este caso, *A. canescens* en las áreas de exclusión no presentaron respuestas favorables al largo plazo de descanso.

Por otro lado, no se observaron diferencias significativas para el efecto interacción (P>0.05) en arbustos, pastos, vegetación total y *A. canescens*, excepto para las herbáceas donde sí hubo diferencia altamente significativa (P<0.01); fue en las áreas de exclusión al pastoreo, durante los meses de verano, cuando se registró la mayor producción de materia seca, con una media de 388 ± 88 kg de MS ha⁻¹, no obstante que en otoño ésta presentó en las áreas de pastoreo una producción mayor, comparada con las áreas excluidas al pastoreo, y que tuvo medias de 85 ± 7 y 31 ± 41 kg de MS ha⁻¹, respectivamente.

Es importante hacer notar que los mayores rendimientos de MS se encontraron durante los meses de verano y otoño. Sin embargo, los valores más bajos y drásticos se presentaron en los pastos en las áreas de pastoreo, lo que indica que existió una alta incidencia en la carga animal y, posiblemente, también la fauna silvestre contribuyó a que existieran

estas diferencias muy marcadas durante el año de estudio, en comparación con lo que reportó Vázquez *et al.* (2012) en un estudio de caso para un agostadero con las características de un matorral mediano espinoso en Múzquiz, Coah.; en este estudio, en el que no se incluyó la interferencia de arbustos y árboles, la producción determinada fue de 1, 029,78 kg MS ha⁻¹. Detectamos que los pastos y las herbáceas fueron constantemente afectados por el régimen de pastoreo, ya que obtuvieron muy baja producción forrajera, lo que provocó un aumento dominante en las plantas arbustivas; al respecto, el INIFAP (1994) encontró resultados similares, ya que al estimar la producción de forraje en algunos agostaderos del estado de Chihuahua, encontró producción forrajera de 948 kg MS ha⁻¹. Sin embargo, los resultados obtenidos en el presente estudio mostraron la exitosa recuperación de los pastos dentro de las áreas de exclusión del ganado, lo que pone de manifiesto la capacidad productiva de este ecosistema. Los valores de vegetación total reportados en el presente estudio fueron superiores a los reportados por Pinedo *et al.* (2013).

Huss (1993) menciona que la falta total de defoliación de las plantas puede dar como resultado una mala salud vegetal y disminución de la productividad. Esto ocurrió para las áreas de exclusión al pastoreo sobre las plantas arbustivas en todas las estaciones comparado con las áreas de pastoreo, ya que presentaron una merma del (62, 8, 53 y 43%)

durante verano, otoño, invierno y primavera, respectivamente. En un estudio realizado por Gutiérrez *et al.* (2004 y 2006) evaluaron pastizales en diferentes localidades del estado de Zacatecas, y registraron valores promedios de producción de forraje alrededor de 330 kg MS ha⁻¹, que fueron muy inferiores a los reportados en el presente estudio.

En las comunidades de *A. canescens* estudiadas, los mejores rendimientos se presentaron en las áreas de exclusión, al registrarse en verano la mayor producción con una media de 1,415 kg MS ha⁻¹, valor muy cercano al observado por Romero y Ramírez (2003), quienes reportan durante verano una producción de 1745.5 kg MS ha⁻¹, que declinó hasta la primavera, con una producción de 581 kg MS ha⁻¹; por otro lado, para este estudio en primavera presentó menor rendimiento, ya que se obtuvo una producción media de 390 kg de MS ha⁻¹. Esta disminución posiblemente se debió a una nula defoliación por parte de los animales, lo que no favoreció a la producción de nuevos rebrotes. Además, estos autores mencionan que la frecuencia del pastoreo es importante para la sobrevivencia del *A. canescens* y recomiendan un periodo de descanso, por lo menos una vez cada tres o cuatro años.

Propiedades del suelo

El impacto del pastoreo puede afectar el contenido de nutrientes del suelo de tal manera, que el ciclo de nutrientes es alterado (Harrison y Bardgett, 2008). Los análisis estadísticos revelaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para el efecto estación sobre los parámetros: pH, NT, Ca, Mg, NO₃⁻, P, Na, Cu, Fe y Zn (Cuadro 2). En ambos tratamientos: exclusión y libre pastoreo, excepto para MO donde no se presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$), los porcentajes de MO fueron bajos durante las cuatro estaciones, aunque fue verano la más baja, pues se encontró un 1.67 ± 0.33 y $2.22 \pm 0.33\%$ en las áreas de exclusión y libre pastoreo, respectivamente. La presencia y/o ausencia de animales en las áreas del estudio no tuvo una influencia determinante sobre este parámetro, lo cual se puede apreciar con los valores tan estables. Datos muy similares fueron encontrados por Fernández *et al.* (2013) en un estudio del Parque Rural de Valle Gran Rey, en las Islas Canarias, que encontraron baja disponibilidad en áreas excluidas al pastoreo con $2.18 \pm 0.28\%$; sin embargo, en las áreas de pastoreo se incrementó a $3.31 \pm 0.30\%$.

Para el efecto sitio se observaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) sobre los paráme-

tros pH, NT, Ca, Mg, MO y P del suelo. Serrato *et al.* (1999) evaluaron pastizales con ligeras invasiones de especies arbustivas en el norte de Durango, y reportaron valores muy bajos en las variables MO, Ca, Mg, Na, NO₃⁻ y P, en tanto que en el presente estudio, los valores de estas variables fueron muy altos, y de acuerdo con las observaciones para las concentraciones de NO₃⁻, Na Cu, Fe y Zn, éstas no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$); sin embargo, el mayor nivel de concentración que se observó durante el estudio fue el de NO₃⁻, que permaneció característicamente muy estable, y en el caso del Cu, en la estación de otoño presentó mayor concentración con una media de 20.61 ± 0.04 meq/L⁻¹, mientras que para Fe y Zn se mantuvieron característicamente estables durante las cuatro estaciones.

Por otro lado, la interacción estación x sitio no reflejó diferencias significativas ($P > 0.05$) en las concentraciones de pH, NT, Ca, MO y Fe, sin embargo, para Mg, NO₃⁻ y Zn sí se encontraron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$). Para este mismo efecto hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) sobre P, Na y Cu al observar bajas concentraciones de P (< 10 ppm) en otoño, aunque para invierno aumentó a 18.26 ± 2.1 y 22.18 ± 6.09 ppm para las áreas de exclusión y libre pastoreo, respectivamente. En previos estudios en esta misma localidad, Mellado y Rodríguez (1991) reportaron resultados similares en las concentraciones de P del suelo, lo que causó un efecto negativo en la producción de materia seca de *A. canescens*. Este estudio corrobora estos resultados, dado que la producción de materia seca del *A. canescens* también fue baja; adicionalmente, las concentraciones de sales como de fósforo en el suelo, suelen ser las características edáficas más importantes que afectan la producción de materia seca de *A. canescens* en terrenos libres de otras arbustivas; este mismo autor menciona que niveles bajos de fósforo favorecen el crecimiento de esta especie, y niveles elevados de sales de Na y Mg benefician la germinación de las semillas de este arbusto.

Estudios de Fernández *et al.* (2013) también observaron bajas concentraciones 10.05 ± 1.13 ppm en las áreas excluidas, pero hallaron un incremento de 16.10 ± 1.76 ppm en áreas de pastoreo. El marcado aumento de fósforo en el suelo en las áreas de pastoreo, en gran medida parece ser el resultado de una entrada mucho mayor de excretas en el suelo (Mellado *et al.*, 2005). Por otra parte, existe una relación directa entre el contenido de MO, NT y P, ya que ambos elementos se acumulan en el suelo principal-

mente en forma de residuos vegetales, y mientras no exista una incorporación efectiva de materia orgánica en el suelo, los niveles de estos elementos permanecerán relativamente sin incremento alguno, especialmente el del nitrógeno, elemento esencial que determina, en gran medida, la fertilidad de los suelos (Manzano, 1997).

Para el contenido de cationes intercambiables, Fernández *et al.* (2013) reportaron en áreas de exclusión para Na, Mg y Ca 1.74 ± 0.11 , 12.20 ± 0.47 y 52.26 ± 0.91 meq L⁻¹, respectivamente; el contenido de estos cationes fueron bajos en áreas de pastoreo, similar ocurrió en este estudio donde también se encontraron niveles bajos en las áreas pastoreadas; sin embargo, se observó un ligero aumento de estos cationes en las áreas de exclusión, lo que puede estar relacionado por una mayor lixiviación en las áreas de pastoreo debido a la perturbación del suelo (Sakadevan *et al.*, 1993; Mohr *et al.*, 2005); mientras tanto, una mayor tasa de deposición de hojarasca y compo-

sición de microorganismos conllevara, consecuentemente, una mayor mineralización, lo que aumenta los niveles de productividad de las parcelas excluidas (Fernández-Lugo, 2009; Ari *et al.*, 2010). En el análisis se observaron diferencias en relación a las áreas de exclusión y libre pastoreo respecto a las variables pH, NT, Ca, Mg, MO y P del suelo; mientras tanto, en respuesta al incremento de las presiones de pastoreo de cabras en pasturas de las Islas Canarias, España, Arévalo *et al.* (2007) no encontraron un cambio en el pH, MO, Na, Ca y Mg en el suelo.

Muchos estudios han reportado que existe una gran interacción entre las características de la vegetación y los nutrientes del suelo (Berendse, 1998; Wasen *et al.*, 2005), para lo que los factores claves son el Nitrógeno y el agua, que influyen altamente en la productividad de los ecosistemas (Bai *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2011). En este trabajo, las concentraciones de NT, se correlacionaron positivamente con la producción de MS de las herbáceas y los pastos en las áreas

Cuadro 2. Propiedades químicas del suelo en áreas de exclusión (durante 25 años) y de libre pastoreo en las cuatro estaciones del año, en el Campo Experimental "Noria de Guadalupe", Zacatecas. Los valores son Medias \pm Desviación estándar.

Variables	Primavera		Verano		Otoño		Invierno		Efectos		
	E	P	E	P	E	P	E	P	Es	Si	In
pH	7.70 \pm 0.17	7.64 \pm 0.18	7.57 \pm 0.16	7.54 \pm 0.39	7.75 \pm 0.13	7.83 \pm 0.10	7.67 \pm 0.05	7.67 \pm 0.08	**	**	NS
NT (%)	0.16 \pm 0.01	0.10 \pm 0.04	0.14 \pm 0.04	0.12 \pm 0.01	0.12 \pm 0.02	0.11 \pm 0.0	0.14 \pm 0.02	0.12 \pm 0.03	**	**	NS
Ca (meq L ⁻¹)	11.59 \pm 4.09	6.49 \pm 1.40	13.64 \pm 8.05	4.84 \pm 1.33	18.08 \pm 1.97	15.08 \pm 8.80	35.80 \pm 1.89	33.12 \pm 6.08	**	**	NS
Mg (meq L ⁻¹)	2.18 \pm 0.52	1.57 \pm 0.34	1.93 \pm 0.47	1.86 \pm 0.73	2.76 \pm 0.57	3.64 \pm 1.27	6.49 \pm 1.40	6.04 \pm 0.89	**	**	**
MO (%)	1.67 \pm 0.33	2.22 \pm 0.30	2.54 \pm 0.26	2.76 \pm 0.52	2.30 \pm 0.54	2.38 \pm 0.44	2.30 \pm 0.43	2.76 \pm 0.34	NS	**	NS
NO ₃ ⁻ (ppm)	130.80 \pm 41.55	132.37 \pm 32.81	83.03 \pm 20.61	76.43 \pm 10.40	81.95 \pm 24.13	131.52 \pm 39.87	115.08 \pm 18.08	88.48 \pm 10.89	**	NS	**
Na (meq L ⁻¹)	2.03 \pm 0.62	2.00 \pm 0.59	2.57 \pm 0.10	2.62 \pm 0.18	3.18 \pm 1.55	2.44 \pm 0.53	2.54 \pm 0.99	3.21 \pm 0.79	**	NS	*
Cu (ppm)	6.55 \pm 0.09	6.40 \pm 0.06	6.61 \pm 0.04	6.29 \pm 0.02	1.88 \pm 0.21	1.83 \pm 0.14	1.61 \pm 0.04	1.65 \pm 0.05	**	NS	*
Fe (ppm)	9.46 \pm 0.15	9.41 \pm 0.13	9.36 \pm 0.11	9.28 \pm 0.11	9.38 \pm 0.11	9.38 \pm 0.16	9.45 \pm 0.12	9.46 \pm 0.16	**	NS	NS
Zn (ppm)	1.94 \pm 0.06	2.09 \pm 0.13	2.45 \pm 0.07	2.46 \pm 0.08	2.43 \pm 0.12	2.39 \pm 0.08	1.94 \pm 0.07	1.96 \pm 0.06	**	NS	**

E=exclusión; P=pastoreo; Es=estación; Si=sitio; In=interacción; **P<0.01; *P<0.05 y NS= no significativo.

excluidas al pastoreo. Por otra parte, Piñeiro *et al.* (2006) señalan que el pastoreo a largo plazo reduce la materia orgánica del suelo y, por consecuencia, el contenido de nitrógeno. Sin embargo, la deposición de heces y orina asociada al pastoreo puede aumentar la mineralización del suelo (Crawley, 1997), lo que favorece la fertilidad de los suelos.

En un estudio efectuado por Arévalo *et al.* (2011) las Islas Canarias, España, encontraron en matorrales niveles de 2.46 ± 0.80 y $1.89 \pm 1.28\%$ de MO en áreas pastoreadas por cabras y sin pastorear, con una producción forrajera de $1,020 \pm 819$ y 794 ± 929 kg MS ha⁻¹, respectivamente, y en los campos de pastizales 5.92 y 3.04% para áreas pastoreadas y sin pastorear, respectivamente. Esto es consistente con lo que se encontró en este estudio, donde las áreas pastoreadas obtuvieron mayores porcentajes de materia orgánica y mayor producción forrajera, mientras que en las áreas excluidas, menores porcentajes y rendimientos.

Tasa de infiltración

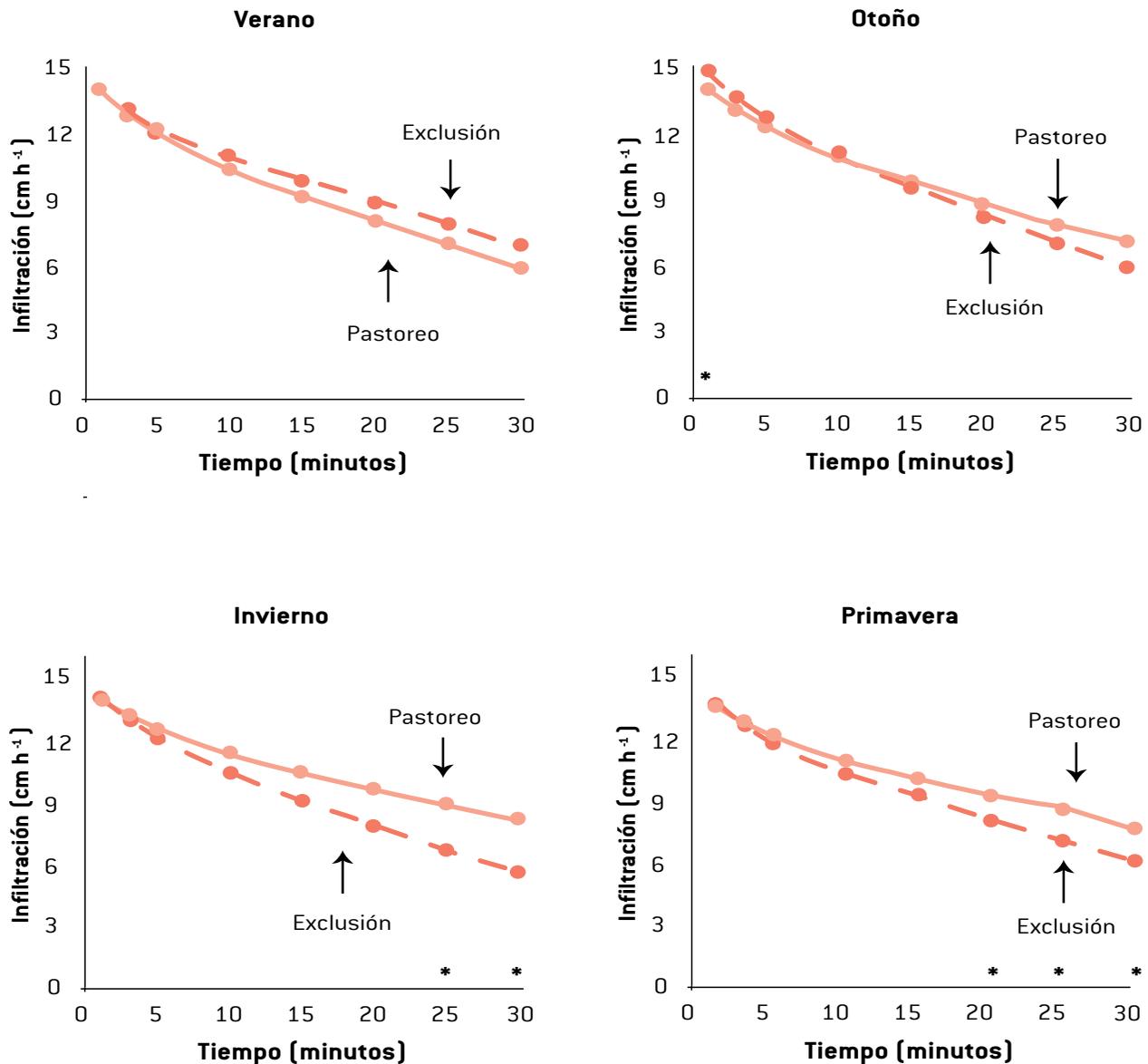
El pastoreo puede tener efectos tanto negativos como positivos en la infiltración del agua (Mellado *et al.*, 2005). El comportamiento de las infiltraciones en verano no tuvo diferencias significativas para las áreas de exclusión y libre pastoreo ($P > 0.05$); sin embargo, el área de exclusión fue ligeramente favorecida con medias de 6.98 cm h⁻¹, comparada con la de pastoreo, con medias de 5.98 cm h⁻¹, ambas en el minuto 30. Esta variación obedeció, en parte, a las condiciones meteorológicas: la precipitación media anual de la región, que fue de alrededor de 433.1 mm y la temperatura media anual de 16.7 °C en el año de estudio (INEGI, 2012). Aunque, por otra parte, en tierras de pastoreo con pendientes incluso menores al 2%, puede presentarse una escasa infiltración y una alta escorrentía, como en Sebele, Botswana (FAO, 2010). Efectos similares reportaron Velásquez *et al.*, (2011) en pastizales de Zacatecas, quienes encontraron tasas de infiltración de 4.38 cm h⁻¹ en áreas excluidas al pastoreo, y de 2.70 cm h⁻¹ en áreas bajo pastoreo. Estos resultados reafirman que en las áreas de exclusión, en verano presentan mayores tasas de infiltración, sin embargo, son relativamente muy bajos respecto a los encontrados en el presente estudio.

En el otoño, al minuto 1 se registró diferencia significativa ($P < 0.05$), mientras que los demás tiempos no difirieron ($P > 0.05$), pues se encontraron promedios de 11.03 y 11.15 cm h⁻¹ en las áreas de exclusión y libre pastoreo, respectivamente, lo cual

coincide con las épocas en que se presenta la mejor producción de forraje y algunos microminerales. Esto también puede atribuirse a la recuperación de la cobertura vegetal en los tratamientos, ya que protegen al suelo del efecto de las gotas de lluvia y evita la remoción de partículas de suelo (Dueñez, 2007), y a que en esta estación se presentó mejor contenido de materia orgánica, el cual Wood y Blackburn (1981) reportaron como un factor clave para el control de la tasa de infiltración en ambientes xéricos.

Para la estación de primavera se presentaron mayores tasas de infiltración, al registrarse diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tiempos 20, 25 y 30 min, con medias de infiltración de 9.75, 9.12 y 8.29 en las áreas de libre pastoreo, y de 8.55, 7.59, 6.64 cm h⁻¹ en las excluidas, respectivamente; mientras tanto, en invierno se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) sólo para los tiempos 25 y 30 min, con medias de infiltración de 9.04 y 8.31 en las áreas de libre pastoreo, y de 6.76, 5.71 cm h⁻¹ en las excluidas, respectivamente. Primavera e invierno fueron las estaciones que obtuvieron mejor infiltración en las áreas de pastoreo, con un promedio 11.59 y 11.57 cm h⁻¹, respectivamente, según se muestra en la Figura 1. El efecto negativo de la reducción de la cubierta vegetal, en particular los arbustos en áreas muy pastoreadas, puede compensarse con una mayor disponibilidad de materia orgánica a partir de excretas de todo el asentamiento (Mellado *et al.*, 2005), lo que favorecen una mayor tasa de infiltración, en tanto que Lado *et al.* (2004) mencionan que suelos con textura franco arenosa y con contenidos bajos de materia orgánica ($< 2,3\%$) facilitan la ruptura de los agregados y la aparición de capas sellantes, y, por consiguiente, la disminución de la tasa de infiltración básica.

En un estudio realizado por Funk *et al.* (2012) evaluaron la recuperación de espacios entre arbustos en una estepa semiárida de la Patagonia, Argentina, que luego de 10 años de exclusión del pastoreo, registraron tasas de infiltración básica en las condiciones de exclusión y pastoreo, y no encontraron diferencias significativas, ya que obtuvieron promedios de 5.44 y 3.30 cm h⁻¹, respectivamente, valores bajos comparado con los reportados en el presente estudio. Por otro lado, Allington y Valone (2011) compararon las tasas de infiltración dentro y fuera de clausuras de pastoreo en un pastizal árido del sudeste de Arizona, EE.UU, y encontraron variabilidad estacional en la infiltración del agua. La exclusión del pastoreo por cuarenta años estuvo asociada con una mayor tasa de infiltración, tanto en la estación seca como en la húmeda.



* $P < 0.05$ significativo; $P > 0.05$ no significativo

Figura 1. Tasas de infiltración en áreas de exclusión (durante 25 años) y de libre pastoreo en las cuatro estaciones del año, en el campo experimental Noria de Guadalupe, Zacatecas.

Denoia *et al.* (2000) determinaron el efecto del pisoteo y no pisoteo en áreas sobre las tasas de infiltración, y encontraron 42,5 y 57 cm h^{-1} , respectivamente; lo contradictorio ocurrió en el presente estudio, en el que el efecto del pisoteo de ganado en áreas de pastoreo aumentó la rugosidad del suelo y mejoró la tasa de infiltración. Por otro lado, Mellado *et al.* (2005) en un pastizal del Desierto Chihuahuense encontraron mayores tasas de infiltración en áreas con cargas altas de animales que con cargas bajas.

CONCLUSIONES

La exclusión del pastoreo durante los últimos 25 años, combinada con la eliminación de arbustos, excepto *Atriplex canescens*, en un matorral parvifolio inerte en el norte de México, redujo mínimamente la producción de materia seca de la vegetación total, que desde el punto de vista de la productividad se vio afectada por el abandono del pastoreo. Sin embargo, *A. canescens*, se favoreció ligeramente. Con respecto

a los nutrientes del suelo, la presencia de pastoreo aumentó la fertilidad del suelo mediante aumentos en el contenido de P y MO, aunque se detectó una disminución de los cationes, principalmente Ca y Mg, en presencia de pastoreo, puesto que el contenido de estos cationes en las áreas excluidas al pastoreo es elevado. En general, las tasas de infiltración se mantuvieron estables a pesar de la reducción de la cubierta vegetal en las áreas excluidas al pastoreo, al igual que en las áreas pastoreadas, lo que indica que la carga animal y el pisoteo de los animales domésticos no afectó la tasa de infiltración de agua.

LITERATURA CITADA

- ALLINGTON G., R.H. and Valone, T.J. 2011. Long-Term Livestock Exclusion in an Arid Grassland Alters Vegetation and Soil. *Rangeland Ecology Management* 64:424-428.
- ARI, J., Kenneth, L.J., John, B. 2010. Vertical distribution of fungal communities in tallgrass prairie soil. *Mycologia* 102 (5), 1027-1041.
- ANON. 1986. Métodos Oficiales de Análisis, vol. I Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. España.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. 15th ed. Arlington, Virginia.
- ARÉVALO, J.R., China, E. and Barquin, E. 2007. Pasture management under goat grazing on Canary Islands. *Agriculture, Ecosystems and Environments*. 128, 291-296.
- ARÉVALO, J.R., De Nascimento, I., Fernández, S., Mata, J. and Bermejo, L. 2011. Grazing effects on species composition depends on the vegetation stand (La Palma, Canary Islands) *Acata ecológica*, 37: 230-238.
- BAI, Y.F., Wu, J.G., Clark, C.M., Naeem, S., Pan, Q.M., Huang, J.H., Zhang, L.X. and Han, X.G. 2010. Tradeoffs and thresholds in the effects of nitrogen addition on biodiversity and ecosystem functioning: evidence from inner Mongolia Grasslands. *Global Change Biol.* 16, 358-372.
- BARAZA, E. y Valiente-Banuet, A. 2012. Efecto de la exclusión de ganado en dos especies palatables del matorral xerófilo del Valle de Tehuacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*.
- BERENDSE, F. 1998. Effect of dominant plant species on soil during succession in nutrient-poor ecosystem. *Biogeochemistry* 42:73-88.
- COLLARD A., L. Lapointe, J. P. Ouellet, M. Crête, A. Lusier, C. Daigle y S. D. Côté. 2010. Slow responses of understory plants of maple-dominated forests to white-tailed deer experimental exclusion. *Forest Ecology and Management* 260:649-662.
- CRAWLEY, M.J. 1997. Plant-herbivore dynamics. pp. 401-474. In: Crawley, M.J. (Ed.), *Plant Ecology*. Blackwell Science, Oxford, UK.
- CHÁVEZ, S.A. 1986. Comparación del sistema de pastoreo continuo y corta duración, bajo dos intensidades de carga durante la época de sequía. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Zootecnia. Chihuahua, Chih. 158p.
- DENOIA, J., Sosa, O., Zerpa, G. y Martín, B. 2000. Efecto del pisoteo animal sobre la velocidad de infiltración y sobre otras propiedades físicas del suelo. Universidad Nacional de Rosario. Facultad de Ciencias Agrarias. Zavalla, Argentina. (1), 129-141.
- DINERSTEIN, E., Olson, D., Atchley, J., Loucks, C., Contreras-Balderas, S., Abell, R., Iñigo, E., Enkerlin, E., Williams, C.E. and Castilleja, G. 2000 (Eds.). *Ecoregion-Based Conservation in the Chihuahuan Desert: A Biological Assessment*. World Wildlife Fund, CONABIO, The Nature Conservancy, Pronatura Noroeste and ITESM.
- DUÉÑEZ, J. 2007. Estudios hidrológicos en ecosistemas del norte de México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de ciencias forestales. Linares, Nuevo León. México. 90 p.
- ECHAVARRÍA Ch., F.G., A. Serna P. y R. Bañuelos V. 2007. Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un agostadero del semiárido Zacatecano: II cambios en el suelo. *Tec Pecu Mex.* 45: 177-194.
- ECOPAD, 2007. Estrategia para la Conservación de Pastizales del Desierto Chihuahuense. 23 p. In: Aguirre, C., J. Hoth y A. Lafón (Eds.). Chihuahua, México.
- FAO. 2010. Food and Agriculture Organization. Agua de lluvia, productividad de la tierra y sequía. <http://www.fao.org/docrep/008/y4690s/y4690s07.htm>. (23 junio 2014):
- FERNÁNDEZ-LUGO, S., de Nascimento, L., Mellado, M., Bermejo, L.A. and Arévalo, J.R., 2009. Vegetation change and chemical soil composition after 4 years of goat grazing exclusion in a Canary Islands pasture. *Agriculture Ecosystems Environment* 132:276-282.
- Fernández-Lugo, S., Arévalo, J.R., de Nascimento, L., Mata, J. and Bermejo, L.A. 2013. Long-term vegetation responses to different goat grazing regimes in semi-natural ecosystems: a case study in Tenerife (Canary Islands). *Applied Vegetation Science*. 16:74-83.
- FUNK, F.A., Peter, G., Loydi, A., Kröpfl, A.I. & Distel, R.A. 2012. Recuperación estructural y funcional de los espacios entre arbustos al cabo de 10 años de exclusión

- del pastoreo en una estepa semiárida del noreste de la Patagonia. *Ecología Austral* 22:195-202.
- GILLEN, R.L. and Sims, P.L. 2004. Stocking rate, precipitation and herbage production on sand sagebrush-grassland. *Journal of Range Management* 55, 148-152.
- GUTIÉRREZ, L.R., García, M.G. y Amador, R.M. 2007. Carga animal del pastizal mediano abierto en zacatecas. Folleto científico Núm. 36 INIFAP-Campo Experimental Zacatecas. 22 p.
- GUTIÉRREZ, L.R., García, M.G. y Amador, R.M. 2004. Estado actual de los pastizales de la zona central del estado de zacatecas. En: IV simposio internacional sobre la flora silvestre en zonas áridas. Delicias, Chih. Pp. 130-37.
- GUTIÉRREZ, L.R., Echavarría, F.G., Salinas, G.H., Amador, R.M., Flores, N.M. y Flores, O.M.A. 2006. Producción caprina bajo pastoreo rotacional diferido y continuo. Folleto científico Núm. 9 INIFAP-Campo Experimental Zacatecas. 38 p.
- HARRISON, K.A. and Bardgett, R.D. 2008. Impacts of grazing and browsing by large herbivores on soils and soil biological properties, in: Gordon, I.J., Prins, H.H.T. (Eds.), the ecology of browsing and grazing. Springer, Berlín, pp. 201- 216.
- HUSS, D. 1993. El Papel de los Animales Domésticos en el Control de la Desertificación. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente-Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago. 113 pp. <http://www.fao.org/docrep/x5320s/x5320s00.HTM>. (6 agosto, 2014)
- IGNACE, D. D., T. E. Huxman, J. F. Weltzin and D. G. Williams. 2007. Leaf gas exchange and water status response of a native and nonnative grass to precipitation across contrasting soil surfaces in the Sonoran desert. *Oecologia* 152:401-413.
- INEGI. 2012. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Perspectiva estadística del estado de Zacatecas, México http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/estd_perspect/zac/Pers-zac.pdf. (12 de agosto)
- INIFAP. 1994. Impacto de la sequía en la ganadería chihuahuense. Unión Ganadera regional de Chihuahua.
- JONES, A. 2000. Effects of cattle grazing on North American arid ecosystems: a quantitative review. *WNAN*. 60: 155-164.
- LADO, M., Paz, A. y Ben, H.M. 2004. Organic Matter and Aggregate Size Interactions in Infiltration, Seal Formation, and Soil Loss. *Soil Science Society of America Journal* 68: 935-942.
- LI, J.Z., Lin, S., Taube, F., Pan, Q.M. and Dittert, K. 2011. Above and belowground net primary productivity of grassland influenced by supplemental water and nitrogen in Inner Mongolia. *Plant Soil* 340, 253-264.
- MANZANO, M.G. 1997. Procesos de Desertificación Asociados a Sobrepastoreo por Caprinos en el Matorral Espinoso de Linares, Nuevo León. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de ciencias forestales. Linares, Nuevo León, México. 88 p.
- MCNAUGHTON, S.J. 1985. Ecology of a grazing ecosystem: the Serengeti. *Ecological Monographs* 53: 259-294.
- MELLADO, M. y Rodríguez, A. 1991. Influencia de algunas características del suelo sobre la producción de materia seca de (*Atriplex canescens*) en el norte de Zacatecas. *Revista Científica Agraria. UAAAN*. Vol. 7, núm. 1. 89-94 p.
- MELLADO, M., Dueñez, J., Foote, R.H, García, J.E. and Rodríguez, A. 2005. Influence of Goat Densities on Vegetation, Hydrology and Soil Properties in a Chihuahuan Desert Range. *Feeds, Annals of Arid Zone* 44: 1-3. Saltillo, Coahuila, México.
- MELLADO, M., Rodríguez, A., Lozano, E.A., Dueñez, J., Aguilar, C.N. and Arévalo, J.R. 2012. The food habits of goats on rangelands with different amounts of fourwing saltbush (*Atriplex canescens*) cover. *Journal of Arid Environments* 84, 91-96.
- MOHR, D., Cohnstaedt, L.W. y Topp, W. 2005. Wild boar and red deer affect soil nutrients and soil biota in steep oak stands of the Eifel. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 693-700.
- OSORNO-SÁNCHEZ, T. 2005. Efectos de la herbivoría del ganado caprino en tres asociaciones vegetales del valle de Tehuacán, Puebla. Tesis, Maestría Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. D. F.
- PINEDO, A.C., Hernández, Q.N.S., Melgoza, C.A., Rentería, V.M., Vélez, S.V.C., Morales, N.C., Quintana, R.M., Santellano, E.E. y Esparza, E. 2013. Diagnóstico Actual y Sustentabilidad de los Pastizales del estado de Chihuahua ante el Cambio Climático. Cuerpo Académico de Recursos Naturales y Ecología (UACH-CA16). Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Chih, México.
- PIÑEIRO, G., Paruelo, J.M. and Oesterheld, M. 2006. Potential long-term impacts of livestock introduction on carbon and nitrogen cycling in grasslands of Southern South America. *Global Change Biology*, 12: 1267-1284. doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01173.x.
- ROMERO, R.R. J. y Ramírez, L.R. 2003. *Atriplex canescens* (Pursh, Nutt), como fuente de alimento para las zonas áridas. *Revista Ciencia UANL / Vol.VI, No. 1*, 85-92. Pag.
- SAKADEVAN, K., Mackay, A.D. y Hedley, M.J. 1993. Influence of sheep excreta on pasture uptake and leaching losses of sulfur, nitrogen and potassium from

- grazed pastures. *Australian Journal of Soil Research* 31: 151-162.
- SERRATO, S.R., Valencia, C.C. y Del Río, O.F. 1999. Interrelaciones entre variables del suelo y de las gramíneas en el pastizal semiárido del norte de Durango. *Terra* volumen 17 número 1, Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia, Chihuahua, Chih. 27-34 pp.
- TERRADAS, J. 2001. *Ecología de la vegetación: de la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Ediciones Omega, Barcelona, España.
- VELÁSQUEZ, V.M.A., Gutiérrez, L.R. y Muñoz, V.J.A. 2011. Manejo de la vegetación y su impacto en la respuesta hidrológica del suelo en un pastizal semiárido. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 3(1): 17-23.
- VÁSQUEZ, R., Rodríguez, M. y Rojas, C. 2012. El área efectiva de apacentamiento: estudio de caso, rancho La Comunidad, Múzquiz, Coahuila, México. En 2da. Reunión Internacional Conjunta de Manejo de Pastizales y Producción Animal. Ponencias Magistrales. Zacatecas, Zac. México.
- WASSEN, M.J., Venterink, H.O., Lapshina, E.D. and Tanneberger, F. 2005. Endangered plants persist under phosphorus limitation. *Nature* 437, 547-550.
- WESCHE, K., Ronnenberg, K., Retzer, V. y Miede, G. 2010. Effects of large herbivore exclusion on southern Mongolian desert steppes. *Acta Oecologica* 36:234-241.
- WIENS, J.A. 1989. Spatial scaling in ecology. *Functional Ecology* 3, 385-397.
- WOOD, M.K. and Blackburn, W.H. 1981. Grazing systems: their influence on infiltration rates in Rolling Plains of Texas. *Journal of Range Management* 34: 331-335.