



ESTRATEGIAS PARA LA RECUPERACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PASTIZALES ÁRIDOS Y SEMIÁRIDOS

STRATEGIES FOR THE RECOVERY AND RESTORATION OF ARID AND SEMI-ARID GRASSLANDS

Jaime N. Márquez-Godoy¹, Edith Ramírez-Segura^{2*}, Jonathan R. Garay-Martínez³, Alan Álvarez-Holguín⁴, Obed G. Gutiérrez-Gutierrez¹, Alejandro Espinoza-Canales⁵ y Luis C. Muñoz-Salas⁵

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Valle de Culiacán, Culiacán, Sinaloa, México. ²INIFAP, Sitio Experimental Metepec, Toluca, Estado de México, México. ³INIFAP, Campo Experimental las Huastecas, Altamira, Tamaulipas, México. ⁴Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Zootécnica y Ecología, Chihuahua, México. ⁵Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Medicina Veterinaria, Enrique Estrada, Zacatecas, México.

*Autor de correspondencia (ramirez.edith@inifap.gob.mx)

RESUMEN

Los pastizales de la región árida y semiárida de México, y del mundo, presentan distintos grados de deterioro como consecuencia de malas e inoportunas prácticas ganaderas, y en años recientes, el efecto del cambio climático. Esta situación ha provocado la pérdida de cobertura vegetal, disminución de especies forrajeras de alto valor e invasión de especies no deseadas. La implementación de diversas técnicas permitiría reducir, frenar y restaurar el equilibrio del ecosistema, al recuperar el suelo y las poblaciones de gramíneas nativas. El objetivo de esta revisión es compilar y describir las principales técnicas para la recuperación de pastizales y proporcionar criterios de selección según el grado de degradación del área a recuperar. Cada una de las técnicas aquí descritas presenta ventajas y desventajas; la elección de estas depende de múltiples factores de índole social, climático, edáfico y de la disponibilidad de semilla de calidad y recursos con que cuente cada usuario del pastizal interesado en recuperar el ecosistema con efectos a largo plazo.

Palabras clave: Calidad de propágulo, degradación, pastizales, pastoreo sostenible, restauración ecológica.

SUMMARY

Grasslands of the arid and semi-arid regions of Mexico, and the world, exhibit varying degrees of deterioration or degradation as a result of poor and untimely livestock practices, and in recent years, the effects of climate change. This situation has led to the loss of plant cover, a decline in high-value forage species, and invasion of unwanted species. The implementation of various techniques would allow for the reduction, slowing, and restoration of ecosystem balance by recovering soil and native grass populations. The aim of this review is to compile and describe the most important techniques for grassland restoration and provide selection criteria in accordance to the degree of degradation of the area to be restored. Each of the techniques described here has advantages and disadvantages; their choice depends on multiple factors, including social, climatic, and edaphic conditions, as well as the availability of quality seed and resources available to each user of the grassland interested in restoring the ecosystem for long-term effects.

Index words: Degradation, grasslands, ecological restoration, propagule quality, sustainable grazing.

INTRODUCTION

La región árida y semiárida de México comprende aproximadamente 94.6 millones de hectáreas, lo que equivale al 49.1 % del territorio nacional. Estas áreas enfrentan condiciones climáticas extremas que, sumadas a la falta de planificación de actividades o prácticas inadecuadas de pastoreo, han traído como consecuencia la compactación del suelo, el incremento de la erosión hídrica y eólica, cambio en el uso de suelo hacia tierras de cultivo, y disrupción de los regímenes de fuego, han llevado a la degradación de los pastizales (Durău *et al.* 2021; SEMARNAT, 2015).

En las últimas cinco décadas, las regiones áridas y semiáridas de México experimentan una pérdida significativa, del 14 % de los pastizales y 26 % de los matorrales, que equivale a 9.77 y 40.95 millones de hectáreas, respectivamente; además, estas áreas presentan algún grado de degradación, lo que favorece al proceso de desertificación (SEMARNAT, 2015). Esta degradación tiene como consecuencia la pérdida de cobertura vegetal, disminución de especies forrajeras de alto valor e invasión de especies leñosas (Durău *et al.* 2021; Valkó *et al.*, 2018).

Ante este panorama, han surgido investigaciones enfocadas a la generación de técnicas y metodologías para la recuperación y restauración de pastizales, como exclusión de áreas, control de especies leñosas, desmonte, resiembra, diversificación de los sistemas de pastoreo, entre otras (Huang y Hou, 2024). Estas estrategias buscan mejorar la condición del pastizal favoreciendo la dominancia de especies de alto valor forrajero, incrementando su potencial productivo y estableciendo espacios que funcionen como semilleros

para la germinación de pastos, promoviendo así el rebrote y la recuperación del forraje, ya sea de forma natural o artificial mediante siembras y resiembras (Blicharska *et al.*, 2024; Le Houerou, 2000; Martín, 2014). Huang y Hou (2024) encontraron que el uso de estas técnicas dio como resultado una mejora significativa de 17 y 38 % de biomasa aérea y aumento de la riqueza de especies en 2 y 24 %.

Antes de aplicar cualquier técnica o metodología para la recuperación de pastizales es fundamental realizar un análisis de la condición actual del área a manejar, y determinar la presencia de indicadores de degradación y el grado del problema. Al respecto, Sainnemekh *et al.* (2022) señalaron que la degradación es la alteración de la estructura y el funcionamiento de un ecosistema debido a la sobreexplotación de los recursos naturales. Los indicadores de degradación consideran el grado de cobertura vegetal, la diversidad de especies, el desplazamiento de suelo por efecto del pisoteo animal, plantas en pedestal, pavimento de erosión, zanjas activas de erosión, formación de cárcavas, y presencia de arbustos y árboles deformados por ramoneo (Gang *et al.*, 2014; Yan *et al.*, 2023).

De este modo, la adopción de técnicas para la recuperación y restauración de pastizales debe considerar los indicadores de degradación, la severidad del problema, la orografía del terreno, el recurso con que cuente el ganadero y la selección de especies vegetales. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es compilar y describir las principales técnicas de recuperación de pastizales y proporcionar criterios de selección de estas según el grado de degradación de cada área.

TÉCNICAS PARA LA RECUPERACIÓN DE PASTIZALES

La decisión para implementar una técnica de recuperación en pastizales debe basarse en un análisis detallado de la condición actual, identificando la degradación y el grado de avance. Esta evaluación es fundamental para seleccionar el método de recuperación más adecuado, mejorar la productividad del sitio y conservar los recursos naturales presentes (Sainnemekh *et al.*, 2022). El tiempo necesario para lograr una recuperación exitosa depende de la severidad del problema, la orografía y dimensión del terreno, así como de la precipitación del lugar. En el caso de las gramíneas, se necesita un mínimo de 305 mm de precipitación anual para que el agua infiltre más allá de la zona radical y, al menos, 460 mm para favorecer a la vegetación arbustiva; sin embargo, en regiones áridas y semiáridas, las altas tasas de evaporación y evapotranspiración generan un balance hídrico negativo. A esto con frecuencia se suman errores de manejo y falta de planeación, factores que pueden retrasar la recuperación

por años. Lo anterior resalta la importancia de seleccionar la técnica más adecuada según el grado de degradación (Flores *et al.*, 2016; Martín, 2014).

Durante las primeras etapas de la degradación se observan plantas forrajeras con poco vigor, escasa producción de semilla, compactación del suelo, baja infiltración de agua, elevado índice de escurrimiento hídrico y consumo excesivo de las especies forrajeras de mejor calidad. En etapas avanzadas, el deterioro se observa mediante una disminución de la cobertura vegetal, baja densidad de plantas de valor forrajero por unidad de superficie, limitada producción de biomasa y menor tamaño de plantas, lo que afecta directamente el rendimiento del forraje. Aunado a lo anterior, al bajo vigor de las plantas remanentes y al aislamiento de coronas en el potrero, la producción de bancos de semillas se vuelve escasa o nula. Por otro lado, la proliferación de arbustos espinosos dificulta el acceso de los animales al forraje (Sainnemekh *et al.*, 2022).

Por esta razón es que, ante los primeros signos de degradación se recomienda aplicar alguna de las técnicas de recuperación disponibles, derivadas de investigación científica y experiencias prácticas, como las áreas de exclusión (Martín, 2014), manejo del pastoreo (Bailey y Brown, 2011), control de leñosas, desmonte (Flores *et al.*, 2016; Haubensak *et al.*, 2020), quema prescrita (Valkó *et al.*, 2018) y resiembras (Mi *et al.*, 2024).

Áreas de exclusión

Las áreas de exclusión, también llamadas zonas de uso restringido o espacios protegidos, consisten en delimitar y suspender temporalmente diversas actividades humanas, principalmente el pastoreo (Martín, 2014; O'Grady *et al.*, 2024). Esta técnica permite la regeneración natural de la vegetación y el suelo, y con ello la recuperación de la diversidad, el vigor y la productividad forrajera del pastizal. Se recomienda realizarse durante los meses de crecimiento vegetativo y/o reproductivo de las especies forrajeras naturales, durante el periodo de lluvias, de tal forma que se favorezca la formación y maduración de semillas, acumulación de reservas, resiembra natural e incremento de la densidad de plantas (Ghorbani *et al.*, 2021; Ren *et al.*, 2018).

En este tenor, Yan y Lu (2015) encontraron en un estudio en pastizales degradados en el Tibet, China que la cobertura total era mayor en áreas de exclusión (43.48 %) en comparación con zonas de libre pastoreo (34.64 %); además, las zonas de exclusión presentaron 2.65 cm más en altura de planta que las parcelas de pastoreo y mayor biomasa sobre el suelo (63.92 g m⁻²) que las

partes pastoreadas (48.49 g m⁻²). El incremento en la cobertura vegetal no solo promueve la recuperación de los pastizales, sino que también protege el suelo y reduce los problemas de erosión. Ren *et al.* (2018) demostraron que al recuperarse la cobertura vegetal se redujo la densidad aparente del suelo de 1.51 a 1.44 g cm⁻³ y el pH de 8.33 a 7.58, mientras que aumentó el porcentaje de agua en el suelo de 9.03 a 13.96 % y materia orgánica de 5.47 a 6.51 %. Estos cambios contribuyeron a la formación de suelos más fértiles y productivos.

A pesar de sus beneficios a corto y mediano plazo, las áreas de exclusión pueden presentar algunas desventajas a largo plazo, las cuales deben considerarse; una de las principales es que, al evitar el pastoreo, el forraje puede tornarse viejo y fibroso, lo que reduce su calidad nutricional y aceptación por el ganado, lo que dificultaría la implementación de un esquema de pastoreo después de un periodo de exclusión; además, el material vegetal senescente puede acumularse en el suelo, y obstaculizar el rebrote de nuevas plantas afectando negativamente la dinámica del ecosistema (Holechek *et al.*, 1999). La descomposición lenta de este material fibroso puede alterar los ciclos de nutrientes, reduciendo la disponibilidad de nitrógeno y otros elementos esenciales para el crecimiento vegetal (Briske *et al.*, 2008).

Por otro lado, muchos pastos nativos de las regiones áridas y semiáridas evolucionaron bajo regímenes de pastoreo natural, lo que significa que su exclusión prolongada puede alterar el crecimiento, rebrote, reproducción y vigor (Milchunas *et al.*, 1988). Sin pastoreo, estas especies pueden perder competitividad frente a arbustos o plantas no forrajeras, lo que altera la composición y estructura del pastizal (Archer, 1994). En consecuencia, aunque las áreas de exclusión son una herramienta valiosa para la restauración inicial de pastizales, su manejo debe ser cuidadoso y planificado para evitar efectos negativos a largo plazo sobre la calidad del forraje, la salud del suelo y la dinámica del ecosistema. La implementación de prácticas complementarias, como el ajuste de carga animal y el pastoreo rotacional, podría ayudar a mantener los beneficios que genera la exclusión al pastoreo.

Implementación de prácticas de pastoreo sostenible

Para preservar la salud del pastizal a largo plazo y mitigar los efectos negativos es necesario realizar una adecuada planificación y manejo, así como implementar buenas prácticas de pastoreo que incluyan rotación de potreros, ajustes de carga animal, distribución estratégica de bebederos y saladeros (Abdelsalam, 2021; Lawrence *et al.*,

2019; Raynor *et al.*, 2021). Eldridge *et al.* (2016) reportaron que malas prácticas de pastoreo redujeron la vegetación en 35 %, composición de especies en 10 %, mientras que la biomasa y la cobertura vegetal disminuyeron en 40 y 25 %, respectivamente.

Rotich *et al.* (2018) obtuvieron con un pastoreo rotacional una producción de 7,034 kg de MS ha⁻¹ y un aumento del 55 % en la cobertura vegetal en comparación con el sistema continuo que generaba 2,390 kg de MS ha⁻¹ y 27 % de cobertura vegetal en áreas de pastizales áridos; esto se debe a que el pastoreo continuo resulta en una presión continua sobre las especies clave del pastizal, y subutilización de las especies de menor palatabilidad. Al no existir periodos de descanso, el pasto no tiene oportunidad para recuperarse, lo que deriva en sobrepastoreo, pérdida de diversidad vegetal y degradación de suelo, incluida la disminución de su fertilidad; por el contrario, implementar estrategias de pastoreo rotacional; es decir, el movimiento constante de los animales permite el descanso y recuperación de los agostaderos, favoreciendo la dispersión de semillas a través del pelaje y heces de los herbívoros, salvaguardando la diversidad vegetal local y regional; asimismo, es necesario evitar la sobreexplotación de recursos (Bailey y Brown, 2011; Plue *et al.*, 2018).

Otra práctica de pastoreo, propuesta desde hace varios años, es el pastoreo de alta intensidad y baja frecuencia (Taylor *et al.*, 1993) y el pastoreo adaptativo (Derner *et al.*, 2022). Estas estrategias buscan maximizar la productividad del suelo y la salud de los pastizales, al tiempo que se trata de minimizar el impacto negativo sobre el ambiente (Derner *et al.*, 2021; 2022).

El pastoreo de alta intensidad y baja frecuencia implica la concentración temporal de ganado en áreas específicas durante periodos cortos, seguido de periodos largos de descanso para permitir la recuperación de la vegetación. Este enfoque difiere con el pastoreo continuo o el pastoreo de baja intensidad, que pueden provocar la degradación del suelo y pérdida de biodiversidad cuando no se respeta la carga animal óptima (Portugal *et al.*, 2021).

Derner *et al.* (2021) evaluaron siete tipos de pastoreo (rotación de verano, rotación de invierno, larga duración, alta intensidad y baja frecuencia, corta duración, sistema de parto en primavera y pastoreo severo) en el noreste de Colorado, Estados Unidos sobre la composición vegetal y la productividad de pastizales, sin encontrar diferencias significativas, con excepción del pastoreo severo que aumentó la densidad de hierbas indeseables. En contraste, el pastoreo adaptativo ajusta las prácticas de pastoreo en función de las condiciones climáticas, la disponibilidad

de forraje y las necesidades nutricionales del ganado, lo que permite una gestión más eficiente y resiliente de los sistemas de pastoreo; basa sus decisiones en la observación del comportamiento animal y las condiciones del pastizal (Derner *et al.*, 2021; García *et al.*, 2016).

Mosier *et al.* (2021) evaluaron el almacenamiento de carbono y nitrógeno atmosférico en el suelo a través de dos sistemas de pastoreo, adaptativo vs. convencional, y encontraron con pastoreo adaptativo 13 y 9 % (9 Mg C ha⁻¹; 1 Mg N ha⁻¹) más de C y N en el suelo, respectivamente. Por su parte, Wolf (2011; Com. Pers.)¹ mencionó que con un pastoreo adaptativo bien gestionado puede mejorar el potencial de secuestro de carbono y al mismo tiempo aumentar la producción de biomasa vegetal y la tasa del ciclo de nutrientes en los pastizales.

Independientemente de la estrategia de pastoreo que se emplee, el ajuste de la carga animal es un componente fundamental para mantener o rehabilitar los agostaderos de zonas áridas y semiáridas. Realizar ajustes de carga animal previene la sobreexplotación de la vegetación, disminuye el consumo temprano del rebrote y da oportunidad de recuperar el área foliar removida por el ganado en pastoreo (Distel, 2013).

Control de leñosas

El incremento de especies arbustivas, muchas veces leñosas y no deseables, reduce la disponibilidad de forraje, modificando la estructura vegetal y limitando la productividad del pastizal (De Souza *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2022). Zarovali *et al.* (2007) determinaron que la producción de materia seca de las gramíneas disminuía de 109.9 a 29.0 g m⁻² a medida que la densidad de arbustos aumentaba. De igual forma, el porcentaje de proteína cruda se reducía de 62.2 a 46.4 % y aumentaba el porcentaje de lignina de 69.1 a 99.3 % con la invasión de arbustos.

Los pastizales invadidos por especies arbustivas requieren de manejo, tiempo, trabajo y dinero para recuperarse (Flores *et al.*, 2016). Entre las técnicas utilizadas para el control de arbustivas se encuentran métodos mecánicos, como el desmonte y químicos, mediante la aplicación de herbicidas selectivos (Flores *et al.*, 2016; Haubensak *et al.*, 2020). Esta práctica de manejo tiene como objetivo reducir y mantener el volumen y densidad de la cobertura arbustiva improductiva a fin de

mejorar la producción y disponibilidad de forraje, y facilitar el manejo del ganado dentro de los potreros (Knudtsen, 1983).

Los métodos mecánicos se han consolidado como una herramienta clave en el manejo y recuperación de pastizales invadidos por arbustivas (Flores *et al.*, 2016). Estos métodos consisten en el uso de maquinaria o equipos específicos para cortar o arrancar la vegetación arbustiva, y restablecer un equilibrio en la composición vegetal. Entre las técnicas más comunes se encuentra el desmonte y rolado. Al respecto, Guzmán *et al.* (2020) encontraron que al aplicar un desmonte manual la cobertura de gramíneas aumentó en 84.32 %, mientras que con el rolado el aumento fue un 43.6 %. Por otra parte, Blanco *et al.* (2003) aplicaron la técnica del rolado y observaron una reducción del 65 % de la cobertura arbustiva, lo que permitió en un corto plazo de uno a dos años un aumento en la productividad de pastos. Resultados similares fueron publicados por Marchesini (2011; Com. Pers.)² donde se registró una reducción de 72 % en la cobertura arbustiva mediante el uso de métodos mecánicos; sin embargo, estos métodos deben ser aplicados de manera estratégica y en combinación con otras prácticas, como el manejo del pastoreo, revegetación de especies nativas y medidas de conservación de suelo, para evitar que las arbustivas vuelvan a invadir las áreas tratadas y para garantizar la sostenibilidad a largo plazo (Ayan *et al.*, 2024; Mellado *et al.*, 2021).

El control químico de arbustivas consiste en la aplicación de herbicidas específicos que actúan sobre las arbustivas indeseables, favoreciendo la recuperación de las gramíneas y mejorando la condición general del pastizal (Haubensak *et al.*, 2020; Weidlich *et al.*, 2020). Estos métodos presentan ventajas significativas, como la capacidad de intervenir de manera rápida y en grandes extensiones de terreno, lo que las hace especialmente útiles en áreas donde los métodos mecánicos resultan menos viables (Haubensak *et al.*, 2020).

Haubensak *et al.* (2020) examinaron la eficacia del herbicida Triclopir (Ácido 3,5,6-tricloro-2-piridiniloxiacético) en diferentes épocas del año para controlar la invasión del arbusto *Cytisus scoparius* (L.) Link, y encontraron que las parcelas tratadas con este herbicida redujeron la cobertura de esta especie a un 22 % en comparación con las parcelas no tratadas que presentaban una cobertura de 90 %. Por otra parte, Peterson *et al.* (2020) aplicaron el herbicida selectivo Pasture Kleen (Ácido 2,4-D éster) para

¹Wolf K. M. (2011) Effects of high-density, short-duration planned livestock grazing on soil carbon sequestration potentials in a coastal California mixed grassland. M. S. Thesis. California Polytechnic State University. San Luis Obispo, California, USA. 204 p. <https://doi.org/https://doi.org/10.15368/theses.2011.162>

²Marchesini V. A. (2011) Cambios en el uso de la tierra y el balance de agua en ecosistemas semiáridos: el desmonte selectivo en el Chaco árido analizando a diferentes escalas espaciales. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. 101 p.

controlar la invasión del brezo [*Calluna vulgaris* (L.) Hull] en pastizales nativos en Nueva Zelanda, y encontraron que con la aplicación del herbicida la cobertura del brezo se redujo en 87 % en comparación con zonas de control, donde aumentó la cobertura del brezo en 20 %; además, los avances tecnológicos en la formulación de herbicidas han permitido desarrollar productos más selectivos y con menor impacto ambiental, lo que responde a la creciente demanda de prácticas sostenibles en el manejo de estos ecosistemas (Martín, 2014).

Ibarra *et al.* (2020) evaluaron la efectividad del herbicida Pastar® en el control de *Acacia cochliacantha*, *A. constricta* y *Mimosa dysocarpa* en pastizales del centro del estado de Sonora, México. El herbicida Pastar (2,4-D amina) controló el 100 % de las especies invasoras y no afectó a las especies nativas presentes en la zona; además, se incrementó la densidad, altura y cobertura vegetal entre 33.7 y 148 % en los sitios evaluados. No obstante, la aplicación de métodos químicos requiere un manejo técnico adecuado y un entendimiento de la dinámica ecológica del pastizal. Factores como el tipo de arbustivas a controlar, época del año, condiciones climáticas y características del suelo son importantes para garantizar la efectividad de los métodos químicos y minimizar los efectos adversos en la vegetación nativa y el ambiente (Ibarra *et al.*, 2020; Weidlich *et al.*, 2020).

Quema prescrita

Históricamente el fuego ha sido percibido como una amenaza para los ecosistemas; sin embargo, desde hace varios años se ha reconocido al fuego como un disturbio natural y necesario en muchos de ellos (Martín, 2014). La quema prescrita, también conocida como quema controlada, consiste en la aplicación planificada, monitoreada y controlada del fuego en áreas específicas (Green, 1981; Wade y Lunsford, 1989). La planificación correcta del uso del fuego requiere considerar diversos aspectos como son la delimitación del área a quemar mediante cortafuegos (franjas de terreno libres de vegetación), las condiciones climáticas como temperatura (entre 10 y 27 °C), humedad relativa del aire (entre 20 y 40 %), velocidad y dirección del viento (entre 10 y 25 km h⁻¹), además de la topografía del terreno, turbulencia del aire, y la cantidad y densidad del combustible fino, definido como material con diámetro menor de 5 mm, que debe oscilar de 3.0 a 3.5 kg de MS ha⁻¹ (Fonseca-González *et al.*, 2024). Respecto de la dinámica del fuego y tipos de fuego a emplear, pueden ser a favor del viento, denominado fuego frontal; en contra del viento, fuego en retroceso; y hacia los laterales, fuego de flanco (Martín, 2014).

Ibarra *et al.* (2012) realizaron una quema prescrita en una pradera de pasto Buffel (*Pennisetum ciliare*) invadida por chírahui (*Acacia cochliacantha*) logrando reducir en 58 % la densidad de este arbusto después de la quema. Por otro lado, Flores *et al.* (2016) evaluaron el efecto del fuego sobre la producción y calidad nutritiva de zacate rosado (*Melinis repens*) en diferentes etapas fenológicas (crecimiento, madurez, y latencia) y encontraron que el fuego incrementa la producción de forraje (base seca) de 53.9 a 168.7 g m⁻², así como la proteína cruda de 12.6 a 13.3 %, también se mejoró la digestibilidad de la materia seca de 45.6 a 51.9 %. Estos datos concuerdan con lo reportado por Villanueva *et al.* (2008), quienes evaluaron el efecto del fuego, durante tres años, sobre el rendimiento, calidad y altura de las gramíneas tropicales *Panicum maximum*, *Hyparrhenia rufa*, *Pennisetum ciliare*, *P. maximum* var. *trichoglume*, *Cynodon plectostachyus* y *C. dactylon*. La respuesta de los zacates al fuego varió entre especies. El uso del fuego incrementó el rendimiento de forraje en *P. ciliare* y *P. maximum* var. *trichoglume*, la calidad del forraje mejoró en todas las especies, lo que indica que el fuego es útil para el manejo de praderas. Lo anterior deja claro que el uso del fuego representa una herramienta del manejo integral y sirve para controlar el crecimiento de vegetación leñosa, promover la regeneración de pastos nativos y mantener un balance ecológico en el bioma pastizal (Eastment *et al.*, 2022).

Resiembra

La resiembra consiste en la introducción de semilla de especies vegetales, principalmente de gramíneas, con el propósito de restablecer la cobertura vegetal y mejorar las propiedades del suelo (Li *et al.*, 2025). Esta técnica puede emplearse para complementar la vegetación existente, reforzando las áreas que presentan signos de degradación (Mi *et al.*, 2024). La implementación exitosa de la resiembra requiere considerar como factor clave la calidad de la semilla. La semilla destinada al mercado debe ajustarse a los estándares de calidad establecidos por la normativa de cada país para su comercialización, en cuanto a las proporciones mínimas de pureza, germinación, malezas y otras semillas, materia inerte para cada especie. Semillas de alta calidad física y fisiológica darán como resultado mayor emergencia y velocidad de desarrollo, mayor establecimiento y cobertura del suelo al producir plantas fuertes y vigorosas (López-Velázquez *et al.*, 2023; Márquez-Godoy *et al.*, 2025a; Ramírez-Segura *et al.* 2022). A nivel mundial, se han propuesto programas de restauración de pastizales (Lewandowski *et al.*, 2017); sin embargo, el éxito de dicha práctica sigue siendo bajo debido a una mala selección de las especies y al desconocimiento de las características de calidad física y fisiológica de la semilla o propágulo, los cuales influyen en la germinación

y establecimiento de las diferentes especies (Márquez-Godoy *et al.*, 2025a; Ramírez-Segura *et al.*, 2023). En adición a esto, se ha pasado por alto el uso de especies nodriza que apoyen en el establecimiento y supervivencia de las especies de lento establecimiento (Lewandowski *et al.*, 2017; López-Velazquez *et al.*, 2023; Ramírez-Segura *et al.*, 2022; 2023). Al respecto, Huerta-Martínez y García-Moya (2004) destacaron la importancia de los elementos abióticos en la distribución y abundancia de las especies, ya que proporciona refugios naturales que limitan el acceso de herbívoros, especialmente durante la etapa de crecimiento, ejemplo de ello son las zonas rocosas se generan micrositios donde el acomodo de las rocas brinda protección individual a diversas especies; además, captan la escorrentía y con ello, propician retención de humedad, permitiendo un mejor desarrollo y establecimiento de las plantas (Milchunas y Noy-Meir, 2002).

Mejoramiento genético

El uso de variedades mejoradas puede contribuir al éxito en los programas de rehabilitación de ecosistemas perturbados, al ser el resultado de la selección y mejoramiento genético enfocado en incrementar la producción y calidad de forraje. En el Cuadro 1 se muestran las especies de gramíneas generadas, registradas y empleadas en México para las resiembras de pastizales áridos y semiáridos. Su uso se debe a su disponibilidad en el mercado, a su importante capacidad de establecimiento para restaurar a la cobertura vegetal y estructura del suelo, además de ser variedades tolerantes al estrés hídrico y térmico, de rápido crecimiento, palatables para el ganado y a su destacada producción de biomasa (Ramírez *et al.*, 2025; Ramírez-Segura *et al.*, 2022; 2023).

Seleccionar especies nativas mejoradas y adaptadas a las condiciones climáticas locales permite conservar los recursos genéticos (Márquez-Godoy *et al.*, 2025a; Ramírez-Segura *et al.*, 2025). Una de las especies más estudiadas ha sido el pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], nativa de las zonas áridas y semiáridas de México, en la que destacan por su rendimiento y producción las variedades comerciales Niner, Vaughn, El Reno, Kansas-6107 y Kansas-6113 (Corrales *et al.*, 2016), mientras que otros investigadores recomiendan el uso de genotipos provenientes de poblaciones nativas como E-689 procedente del municipio de Namiquipa, Chihuahua, México que presentó alto contenido de proteína cruda (14 %) y baja proporción de lignina (2.26 %) (Álvarez-Holguín *et al.*, 2020), así como la variedad Diana, caracterizada por su potencial productivo de semilla y calidad fisiológica (89 % de germinación; Beltrán *et al.*, 2013).

Otra especie de gran importancia en el norte de México es el pasto navajita [*Bouteloua gracilis* (Willd. ex Kunth) Lag. ex Griffiths], por ser una especie tolerante a la sequía, de excelente palatabilidad y calidad forrajera (Carrillo *et al.*, 2009; Moreno-Gómez *et al.*, 2012; Ordóñez-Baquera *et al.*, 2017). En México únicamente se ha generado la variedad Cecilia, cuyo rendimiento de materia seca en condiciones de temporal es en promedio de 980 kg ha⁻¹ y contenidos de proteína cruda de 9.7 y 3.4 % en floración y en madurez fisiológica, respectivamente (Beltrán *et al.*, 2010).

CONSIDERACIONES SOCIOECONÓMICAS Y SOSTENIBILIDAD

La participación de los ganaderos, productores, localidades, comunidades y todo usuario del pastizal son fundamentales para la restauración de este ecosistema. El proceso de participación comunitaria comienza con la sensibilización y educación, involucrando a todos los usuarios del pastizal en la comprensión de los problemas ambientales y las potenciales soluciones haciendo uso de la combinación del conocimiento empírico y tradicional de los pobladores con la ciencia moderna a fin de crear estrategias más efectivas y sostenibles a largo plazo para la rehabilitación de áreas degradadas (Couix y Gonzalo-Turpin, 2015; Hallett *et al.*, 2013; Zamora-Tovar *et al.*, 2011). Esto puede incluir la introducción de técnicas de pastoreo gestionadas correctamente, la inclusión de métodos de conservación de agua y la diversificación de fuentes de ingreso para reducir la presión sobre los agostaderos (Jurado-Guerra *et al.*, 2021; Márquez-Godoy *et al.*, 2025b; Wen *et al.*, 2019).

Zamora-Tovar *et al.* (2011) recopilaron los resultados de la restauración ecológica con ayuda de comunidad local en la cuenca de Burgos de la Laguna Madre, Tamaulipas, México y concluyeron que el vínculo con la sociedad local proporciona estrategias metodológicas al incorporar las opiniones y decisiones comunitarias, las cuales, al incluir conceptos ecológicos producto de investigaciones, dio como resultado la recuperación de más de 6,000 ha. La participación activa de las comunidades en la toma de decisiones e implementación de acciones garantiza que las medidas adoptadas sean culturalmente apropiadas y económicamente viables a largo plazo (Márquez-Godoy *et al.*, 2025b).

CONCLUSIÓN

Existe una diversidad de técnicas y metodologías para la recuperación de pastizales, la selección debe basarse en el nivel de degradación que presenten, considerando además aspectos como la topografía del terreno, el recurso económico y maquinaria con que cuente el

Cuadro 1. Principales especies de gramíneas utilizadas en programas de resiembra en pastizales áridos y semiáridos de México.

Nombre común	Nombre científico	Variedad generadas y registradas en México	Características	Referencias
Navajita [†]	<i>Bouteloua gracilis</i>	Cecilia, Alma	Resistencia a la sequía, buena calidad de forraje	Beltrán <i>et al.</i> (2010)
Banderita [†]	<i>Bouteloua curtipendula</i>	Niner, Vaughn, El Reno, Diana, La Campana, NdeM-5, NdeM-La Resolana, NdeM-125, NdeM-303, NdeM-417, NdeM-Zenit, NdeM-La Zarca, NdeM-62, Herguz.	Alta producción de forraje y germinación	Corrales <i>et al.</i> (2016), SNICS (2025)
Gigante [†]	<i>Disakisperma dubium</i>	Sin variedades	Buen valor forrajero, ayuda en la retención y formación de suelos.	Ramírez <i>et al.</i> (2025)
Lobero [†]	<i>Muhlenbergia phleoides</i>	Sin variedades	Buen valor forrajero, evita la erosión de suelo.	Ramírez <i>et al.</i> (2025)
Buffel ^{††}	<i>Pennisetum ciliare</i>	Buffel Regio, Nueces, Atracón, Milenio, Pantaleón, Retobón, Titán, Torzón, Triatlón.	Tolerancia a la sequía, rápido establecimiento	Beltrán <i>et al.</i> (2017), SNICS (2025)
Klein ^{††}	<i>Panicum coloratum</i>	Klein 188, Común, Klein 75, Green, Klein 183, Klein 184.	Adaptabilidad, buena producción de forraje	Eguiarte y González (1995), SNICS (2025)
Llorón ^{††}	<i>Eragrostis curvula</i>	Llorón Imperial	Tolerancia a la sequía, rápido establecimiento	Beltrán <i>et al.</i> (2018), SNICS (2025)
Garrapata [†]	<i>Eragrostis superba</i>	Garrapata Hércules	Tolerancia a la sequía, rápido establecimiento	Beltrán <i>et al.</i> (2020), SNICS (2025)

[†]Especies nativas de zonas áridas y semiáridas de México, ^{††}Especies exóticas y naturalizadas en México.

ganadero o usuario del pastizal y además debe existir disponibilidad de semillas de calidad, que cumplan con los criterios básicos establecidos por la autoridad regulatoria en materia de semillas. Existe la necesidad de continuar realizando investigación para encontrar ecotipos nativos sobresalientes, así como la generación de tecnologías enfocadas en la producción de semillas y prácticas agronómicas que permitan hacer más eficientes las técnicas de siembras según la región y orografía. La gestión integral de técnicas, aunada a la participación comunitaria, son claves para alcanzar la sostenibilidad de los pastizales mexicanos a largo plazo.

BIBLIOGRAFIA

- Abdelsalam M. I. (2021) Effects of overgrazing on rangeland resources in semi-arid areas and rangeland management: a review article. *Agrica* 10:144-151, <https://doi.org/10.5958/2394-448X.2021.00022.5>
- Álvarez-Holguín A., J. M. Ochoa-Rivero, O. C. Ponce-García, C. R. Morales-Nieto y R. Corrales-Lerma (2020) Atributos agronómicos, composición nutricional y su relación en genotipos de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*). *Ciencia e Innovación* 3:279-289.
- Archer S. (1994) Woody plant encroachment into southwestern grasslands and savannas: rates, patterns and proximate causes. In: Ecological Implications of Livestock Herbivory in the West. M. Vavra, W. A. Laycock and R. D. Pieper (eds). Society for Range Management. Denver, Colorado, USA. pp:13-68.
- Ayan H., J. Castro I., I. Alvarado y J. Collante B. (2024) Modificaciones de las propiedades físicas en entosoles del Chaco seco para recuperación de pastizales degradados. *Semiárida* 34:79-90, [https://doi.org/10.19137/semiárida.2024\(2\).79-90](https://doi.org/10.19137/semiárida.2024(2).79-90)
- Bailey D. W. and J. R. Brown (2011) Rotational grazing systems and livestock grazing behavior in shrub-dominated semi-arid and

- arid rangelands. *Rangeland Ecology and Management* 64:1-9, <https://doi.org/10.2111/REM-D-09-00184.1>
- Beltrán L. S., C. A. García D., J. A. Hernández A., C. Loredó O., J. Urrutia M., L. A. González E. y H. G. Gámez V. (2010) "Navajita Cecilia" *Bouteloua gracilis* H.B.K. (Lag.). Nueva variedad de pasto para zonas áridas y semiáridas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 1:127-130.
- Beltrán L. S., C. A. García D., J. A. Hernández A., C. Loredó O., J. Urrutia M., L. A. González E. y H. G. Gámez V. (2013) "Banderilla Diana" *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., nueva variedad de pasto para zonas áridas y semiáridas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 4:217-221.
- Beltrán L. S., C. A. García D., C. Loredó O., J. Urrutia M., J. A. Hernández A. y H. G. Gámez V. (2017) "Titán" y "Regio", variedades de pasto Buffel (*Pennisetum ciliare*) (L.) Link para zonas áridas y semiáridas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 8:291-295, <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4159>
- Beltrán L. S., D. C. A. García, O. C. Loredó, M. J. Urrutia, A. J. A. Hernández y V. H. G. Gámez (2018) "Llorón Imperial", *Eragrostis curvula* (Schrad) Nees, variedad de pasto para zonas áridas y semiáridas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 9:400-407, <https://doi.org/https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i2.4532>
- Beltrán L. S., C. A. García D., C. Loredó O., J. Urrutia M., J. A. Hernández A. y H. G. Gámez V. (2020) "Garrapata Hércules" *Eragrostis superba* (Peyr), variedad de pasto para zonas áridas y semiáridas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 11:304-310, <https://doi.org/https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4391>
- Blanco L., C. Ferrando, E. Oriente, F. Biurrun, G. Berone, D. Recalde y P. Namur (2003) Efecto de dos tratamientos de rolado sobre la cobertura de leñosas en un arbustal degradado del Chaco árido. *Revista Argentina de Producción Animal* 23:115-116, <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1111.7600>
- Blicharska M., F. Haddad, T. Riccardi and R. J. Smithers (2024) Global presumed drylands: drivers, pressures, state, impacts, responses. *Journal of Environmental Planning and Management* 68:3411-3438, <https://doi.org/10.1080/09640568.2024.2351424>
- Briske D. D., J. D. Derner, J. R. Brown, S. D. Fuhlendorf, W. R. Teague, K. M. Havstad, ... and W. D. Willms (2008) Rotational grazing on rangelands: reconciliation of perception and experimental evidence. *Rangeland Ecology & Management* 61:3-17, <https://doi.org/10.2111/06-159R.1>
- Carrillo S. S. M., T. Arredondo M., E. Huber-Sannwald y J. Flores R. (2009) Comparación en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas entre gramíneas nativas y exóticas del pastizal semiárido. *Técnica Pecuaria en México* 47:299-312.
- Corrales L. R., C. R. Morales N., A. Melgoza C., J. S. Sierra T., J. A. Ortega G. y G. Méndez Z. (2016) Caracterización de variedades de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] recomendadas para rehabilitación de pastizales. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 7:201-211, <https://doi.org/10.22319/rmcp.v7i2.4174>
- Couix N. and H. Gonzalo-Turpin (2015) Towards a land management approach to ecological restoration to encourage stakeholder participation. *Land Use Policy* 46:155-162, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.01.025>
- De Souza G. F., M. C. Ferreira and C. B. R. Munhoz (2022) Decrease in species richness and diversity, and shrub encroachment in Cerrado grasslands: a 20 years study. *Applied Vegetation Science* 25:e12668, <https://doi.org/10.1111/avsc.12668>
- Derner J. D., D. J. Augustine, D. D. Briske, H. Wilmer, L. M. Porensky, M. E. Fernández-Giménez, ... and the CARM Stakeholder Group (2021) Can collaborative adaptive management improve cattle production in multipaddock grazing systems? *Rangeland Ecology & Management* 75:1-8, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rama.2020.11.002>
- Derner J. D., B. Budd, G. Grissom, E. J. Kachergis, D. J. Augustine, H. Wilmer, ... and J. P. Ritten (2022) Adaptive grazing management in semiarid rangelands: an outcome-driven focus. *Rangelands* 44:111-118, <https://doi.org/10.1016/j.rala.2021.02.004>
- Distel R. A. (2013) Manejo del pastoreo en pastizales de zonas áridas y semiáridas. *Revista Argentina de Producción Animal* 33:53-64.
- Durău C. C., V. Sărăeanu, O. Cotuna and M. Paraschivu (2021) Impact of the grassland management planning application on some features of the grassland vegetation from Western Romania—Case study. *Economic Engineering in Agriculture and Rural Development* 21:325-331.
- Eastment C., G. Humphrey, M. T. Hoffman and L. Gillson (2022) The influence of contrasting fire management practice on bush encroachment: lessons from Bwabwata National Park, Namibia. *Journal of Vegetation Science* 33:e13123, <https://doi.org/10.1111/jvs.13123>
- Eldridge D., A. G. Poore, M. Ruiz-Colmenero, M. Letnic and S. Soliveres (2016) Ecosystem structure, function, and composition in rangelands are negatively affected by livestock grazing. *Ecological Applications* 26:1273-1283, <https://doi.org/10.1890/15-1234>
- Eguarte V. J. A. y A. González S. (1995) Producción de semilla y forraje de pastos tropicales en el sur de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 33:105-111.
- Flores A. E., M. Luna L., C. Haubi S., A. Díaz R. y J. J. Luna R. (2016) Efecto del fuego en producción y calidad de zacate rosado en Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:1271-1281, <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i6.176>
- Fonseca-González J., D. Cibrián-Tovar, H. M. de los Santos-Posadas, J. Meza-Rangel, A. Rodríguez-Ortega y J. Juárez-Muñoz (2024) Quemadas prescritas y biodiversidad de morfoespecies de coleópteros en un bosque de pino. *Madera y Bosques* 30:e3012535, <https://doi.org/10.21829/myb.2024.3012535>
- Gang C., W. Zhou, Y. Chen, Z. Wang, Z. Sun, J. Li, ... and I. Odeh (2014) Quantitative assessment of the contributions of climate change and human activities on global grassland degradation. *Environmental Earth Sciences* 72:4273-4282, <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3322-6>
- García M. G. C., G. Irisarri, H. Bottaro e I. Lateulade (2016) Manejo adaptativo de los pastizales: del concepto a la práctica. *Medio Ambiente* 25:115-120.
- Ghorbani A., F. Dadjou, M. Moameri, A. Fekri, L. Andalibi, A. Biswas, ... and J. Sharifi (2021) Effect of grazing exclusion on soil and vegetation characteristics in desert steppe rangelands: a case study from north-western Iran. *Arid Land Research and Management* 35:213-229, <https://doi.org/10.1080/15324982.2020.1850542>
- Green L. R. (1981) Burning by Prescription in Chaparral. General Technical Report PSW-51. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service, Berkeley, California, USA. 34 p, <https://doi.org/10.2737/PSW-GTR-51>
- Guzmán L. M., A. Ricarte y R. Díaz (2020) El rolado y desmonte manual: ¿Cuáles son las consecuencias para el ecosistema cuando sacamos los arbustos? *Tecnoárido* 3:39-43.
- Hallett L. M., S. Diver, M. V. Eitzel, J. J. Olson, B. S. Ramage, H. Sardinias, ... and K. N. Suding (2013) Do we practice what we preach? Goal setting for ecological restoration. *Restoration Ecology* 21:312-319, <https://doi.org/10.1111/rec.12007>
- Haubensak K. A., S. Grove, J. Foster and I. M. Parker (2020) Chemical and mechanical control of the invasive shrub *Cytisus scoparius* in forest clearings in western Washington, USA. *Invasive Plant Science and Management* 13:30-36, <https://doi.org/10.1017/inp.2020.1>
- Holechek J. L., R. D. Pieper and C. H. Herbel (1999) Range Management: Principles and Practices. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA. 542 p.
- Huang X. and F. Hou (2024) Principle, technique and application of grassland improvement. *Journal of Environmental Management* 369:122264, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122264>
- Huerta-Martínez F. M. y E. García-Moya (2004) Diversidad de especies perennes y su relación con el ambiente en un área semiárida del centro de México: implicaciones para la conservación. *Interciencia* 29:435-441.
- Ibarra F. F. A., M. H. Martín R. y H. Miranda Z. (2012) Rehabilitación de praderas de zacate Buffel invadidas por arbustos mediante el uso de la quema prescrita. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 37(3):9-22.
- Ibarra F. F. A., M. H. Martín R., S. Moreno M., R. Garza O., J. E. Hernández H., J. C. Rodríguez C. y R. Retes L. (2020) Rentabilidad del herbicida Pastar® en el control químico de arbustos en pradera de zacate buffel en la región central de Sonora, México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 47:617-629, <https://doi.org/10.22004/ag.econ.308717>

- Jurado-Guerra P., M. Velázquez-Martínez, R. A. Sánchez-Gutiérrez, A. Álvarez-Holguín, P. A. Domínguez-Martínez, R. Gutiérrez-Luna, ... y M. G. Chávez-Ruiz (2021) Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: estatus actual, retos y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 12:261-285, <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5875>
- Knudtsen O. (1983) El uso de arbusticidas para mejorar la producción de forraje y el manejo del ganado en campos de cría con malezas leñosas. II Reunión de Intercambio Tecnológico en Zonas Áridas y Semiáridas. Centro Argentino de Ingenieros Agrónomos. Villa Dolores, Córdoba, Argentina. pp:155-161.
- Lawrence R., R. D. B. Whalley, N. Reid and R. Rader (2019) Short-duration rotational grazing leads to improvements in landscape functionality and increased perennial herbaceous plant cover. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 281:134-144, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.031>
- Le Houerou H. N. (2000) Restoration and rehabilitation of arid and semiarid Mediterranean ecosystems in North Africa and West Asia: a review. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 14:3-14, <https://doi.org/10.1080/089030600263139>
- Lewandrowski W., T. E. Erickson, K. W. Dixon and J. C. Stevens (2017) Increasing the germination envelope under water stress improves seedling emergence in two dominant grass species across different pulse rainfall events. *Journal of Applied Ecology* 54:997-1007, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12816>
- Li J., S. Ravi., G. Wang, R. S. Van Pelt, T. E. Gill and J. B. Sankey (2022) Woody plant encroachment of grassland and the reversibility of shrub dominance: erosion, fire, and feedback processes. *Ecosphere* 13:e3949, <https://doi.org/10.1002/ecs2.3949>
- Li D., S. Li., H. Chen and J. Wu (2025) Reseeding promotes plant biomass by improving microbial community stability and soil fertility in a degraded subalpine grassland. *Geoderma* 453:117160, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.117160>
- López-Velázquez M. M., E. Ramírez-Segura, R. A. Sánchez-Gutiérrez, S. Joaquín-Cancino, L. C. Muñoz-Salas y O. Gayosso-Barragán (2023) Parámetros de calidad en propágulos de pastos nativos e introducidos cosechados en sequía. *Revista Fitotecnia Mexicana* 46:487-496, <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4A.487>
- Márquez-Godoy J. N., E. Ramírez-Segura, J. R. Garay-Martínez, C. A. Aguirre-Gutiérrez y D. García-Cervantes (2025a) Morfología de cariósides de pastos forrajeros nativos de zonas áridas y semiáridas de México. *Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social* 11:1-13, <https://doi.org/10.63728/riids.v11i1.78>
- Márquez-Godoy J. N., E. Ramírez-Segura, J. R. Garay-Martínez, A. Espinoza-Canales y L. C. Muñoz-Salas (2025b) Importancia de la gestión del pastoreo sobre la ecología del suelo. *Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social* 11:217-238, <https://doi.org/10.63728/riids.v11i1.170>
- Martín G. O. (2014) Técnicas de Refinamiento y Recuperación de Pastizales. Serie Didáctica No. 85. Universidad Nacional de Tucumán. San Miguel de Tucumán, Argentina. 65 p.
- Mellado M., J. A. Encina-Domínguez, J. E. García, E. Estrada-Castillo and J. R. Arévalo (2021) Vegetation response to removal of plant groups and grass seeding in microphyllous desert shrubland: a 4-year field experiment. *Agriculture* 11:322, <https://doi.org/10.3390/agriculture11040322>
- Mi W., H. Zheng, Y. Chi, W. Ren, W. Zhang, H. Zhang, ... and F. Yuan (2024) Reseeding inhibits grassland vegetation degradation—Global evidence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 374:109144, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109144>
- Milchunas D. G., O. E. Sala and W. K. Lauenroth (1988) A generalized model of the effects of grazing by large herbivores on grassland community structure. *The American Naturalist* 132:87-106, <https://doi.org/10.1086/284839>
- Milchunas D. G. and I. Noy-Meir (2002) Grazing refuges, external avoidance of herbivory and plant diversity. *Oikos* 99:113-130, <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.990112.x>
- Moreno-Gómez B., E. García-Moya, Q. Rascón-Cruz y G. A. Aguado-Santacruz (2012) Crecimiento y establecimiento de plántulas de *Bouteloua gracilis* (Kunth) Lag. ex Griffiths y *Eragrostis curvula* var. *conferta* Stapf bajo un régimen simulado de lluvia. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35:299-308, <https://doi.org/10.35196/rfm.2012.4.299>
- Mosier S., S. Apfelbaum, P. Byck, F. Calderon, R. Teague, R. Thompson and M. F. Cotrufo (2021) Adaptive multi-paddock grazing enhances soil carbon and nitrogen stocks and stabilization through mineral association in southeastern U.S. grazing lands. *Journal of Environmental Management* 288:112409, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112409>
- O'Grady A. P., D. S. Mendham, K. Mokany, G. S. Smith, S. B. Stewart and M. T. Harrison (2024) Grazing systems and natural capital: Influence of grazing management on natural capital in extensive livestock production systems. *Nature-Based Solutions* 6:100181 <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2024.100181>
- Ordóñez-Baquera P. L., E. González-Rodríguez, G. A. Aguado-Santacruz, Q. Rascón-Cruz, A. Conesa, V. Moreno-Brito, ... y J. Domínguez-Viveros (2017) Identification of miRNA from *Bouteloua gracilis*, a drought tolerant grass, by deep sequencing and their *in silico* analysis. *Computation Biology and Chemistry* 66:26-35, <https://doi.org/10.1016/j.compbiolchem.2016.11.001>
- Peterson P. G., M. F. Merrett, S. V. Fowler, D. P. Barrett and Q. Paynter (2020) Comparing biocontrol and herbicide for managing an invasive non-native plant species: efficacy, non-target effects and secondary invasion. *Journal of Applied Ecology* 57:1876-1884, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13691>
- Plue J., T. Aavik and S. A. O. Cousins (2018) Grazing networks promote plant functional connectivity among isolated grassland communities. *Diversity and Distributions* 25:102-115, <https://doi.org/10.1111/ddi.12842>
- Portugal T. B., L. S. Szymczak, A. De Moraes, L. Fonseca, J. C. Mezzalana, J. V. Savian, ... and A. L. G. Monteiro (2021) Low-intensity, high-frequency grazing strategy increases herbage production and beef cattle performance on sorghum pastures. *Animals* 12:13, <https://doi.org/10.3390/ani12010013>
- Ramírez S. E., J. N. Márquez G. y M. Velázquez M. (2025) Gramíneas de Importancia Forrajera en Zonas Áridas y Semiáridas de México. Libro Técnico No. 1. CENID Agricultura Familiar, INIFAP. Ojuelos de Jalisco. México. 114 p.
- Ramírez-Segura E., J. A. Maldonado-Jaquez, I. Torres-Salas y A. R. Quero-Carrillo (2022) Atributos físicos y fisiológicos de semilla de pastos nativos del México árido. *Revista Fitotecnia Mexicana* 45:453-460, <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.4.453>
- Ramírez-Segura E., A. Hernández-Livera, L. Miranda-Jiménez, R. A. Sánchez-Gutiérrez y A. Quero-Carrillo (2023) Viabilidad y vigor en cariósides de gramíneas de zonas semiáridas. *Abanico Veterinario* 14:1-13, <https://doi.org/10.21929/abavet2023.102>
- Raynor E. J., S. P. Gersie, M. B. Stephenson, P. E. Clark, S. A. Spiegel, R. K. Boughton, ... and D. J. Augustine (2021) Cattle grazing distribution patterns related to topography across diverse rangeland ecosystems of North America. *Rangeland Ecology & Management* 75:91-103, <https://doi.org/10.1016/j.rama.2020.12.002>
- Ren G., C. Wang, K. Dong, H. Zhu, Y. Wang and X. Zhao (2018) Effects of grazing exclusion on soil-vegetation relationships in a semiarid grassland on the Loess Plateau, China. *Land Degradation & Development* 29:4071-4079, <https://doi.org/10.1002/ldr.3164>
- Rotich H. K., J. S. Mbau, R. Onwonga and O. K. Koech (2018) Vegetation dynamics in relation to grazing management practices in semi-arid grazing lands of Makueni County, Kenya. *Journal of Rangeland Science* 8:227-239.
- Sainemekh S., I. C. Barrio, B. Densambuu, B. Bestelmeyer and A. L. Aradóttir (2022) Rangeland degradation in Mongolia: a systematic review of the evidence. *Journal of Arid Environments* 196:104654, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104654>
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2015) Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2015. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México. 470 p.
- SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2025) Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (en línea). Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/snics/articulos/catalogo-nacional-de-variedades-vegetales-en-linea?idiom=es> (Noviembre 2025).

- Taylor C. A., T. D. Brooks and N. E. Garza (1993) Effects of short duration and high-intensity, low-frequency grazing systems on forage production and composition. *Journal of Range Management* 46:118-121, <https://doi.org/10.2307/4002266>
- Valkó O., S. Venn, M. Žmihorski, I. Biurru, R. Labadessa and J. Loos (2018) The challenge of abandonment for the sustainable management of Palaearctic natural and semi-natural grasslands. *Hacquetia* 17:5-16, <https://doi.org/10.1515/hacq-2017-0018>
- Villanueva A. J. F., L. F. Negrete R., J. C. Villalobos G. y C. M. Britton (2008) Respuesta de seis gramíneas tropicales a la quema prescrita en la costa oeste de México. *Técnica Pecuaria en México* 46:397-411.
- Wade D. D. and J. D. Lunsford (1989) A Guide for Prescribed Fire in Southern Forests. Technical Publication R8-TP11. USDA Forest Service Southern Region. Atlanta, Georgia, USA. 56 p.
- Weidlich E. W. A., F. G. Flórido, T. B. Sorrini and P. H. S. Brancalion (2020) Controlling invasive plant species in ecological restoration: a global review. *Journal of Applied Ecology* 57:1806-1817, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13656>
- Wen X., X. Deng and F. Zhang (2019) Scale effects of vegetation restoration on soil and water conservation in a semi-arid region in China: resources conservation and sustainable management. *Resources, Conservation and Recycling* 151:104474, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104474>
- Yan Y. and X. Lu (2015) Is grazing exclusion effective in restoring vegetation in degraded alpine grasslands in Tibet, China? *PeerJ* 3:e1020, <https://doi.org/10.7717/peerj.1020>
- Yan Z., Z. Ga., B. Sun, X. Ding, T. Gao and Y. Li (2023) Global degradation trends of grassland and their driving factors since 2000. *International Journal of Digital Earth* 16:1661-1684, <https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2207840>
- Zamora-Tovar C., J. L. Jiménez-Pérez, A. Cardona-Estrada, C. E. González-Romo, H. A. Garza-Torres, G. Herrera-Patiño y G. Sánchez-Ramos (2011) Participación comunitaria en la restauración ecológica de la laguna Madre, Tamaulipas. *CienciaUAT* 6:38-47.
- Zarovali M. P., M. D. Yiakoulaki and V. P. Papanastasis (2007) Effects of shrub encroachment on herbage production and nutritive value in semi-arid Mediterranean grasslands. *Grass and Forage Science* 62:355-363, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2007.00590.x>