

Salud del ecosistema de pastizal y biomasa en áreas naturales protegidas para el perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*) en Nuevo León, México

Grassland ecosystem health and biomass in protected natural areas for Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*) in Nuevo Leon, Mexico

Elisa Paulina Zaragoza-Quintana¹, Mauricio Cotera-Correa^{1*}, Laura Magdalena Scott-Morales¹, Marisela Pando-Moreno¹, Andrés Eduardo Estrada-Castillón¹, Humberto González-Rodríguez¹

¹Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México.
Tel. (821)-2124895. nasuanarik@yahoo.com.mx, mauricio.coteracr@uanl.edu.mx, laura.scottmr@uanl.edu.mx,
marisela.pandomr@uanl.edu.mx, andres.estradacs@uanl.edu.mx, humberto.gonzalezrd@uanl.edu.mx

*Autor de correspondencia

Resumen

En Nuevo León, México, se decretaron tres áreas naturales protegidas (ANP) para conservar a *Cynomys mexicanus*; sin embargo, las actividades agropecuarias continúan dentro de estas áreas, aunado a la carencia de información sobre la condición de su hábitat. En este estudio se evaluó la salud del pastizal y la producción de biomasa de las tres áreas (la Trinidad, la Hediondilla y Llano la Soledad) para determinar su funcionalidad. La salud del ecosistema de La Hediondilla estuvo deteriorada y su zona núcleo presentó el estado funcional más crítico; además, presentó la mayor producción de biomasa (0.53 Mg/ha^{-1}) debido al cambio de uso de suelo y la vegetación invasora. Las actividades productivas en el Llano La Soledad son básicamente ganaderas, aunque la producción de biomasa fue menor (0.14 Mg/ha^{-1}), presentó las mejores condiciones de salud, ya que toda su superficie es de uso restringido. La salud deteriorada del pastizal es una amenaza para *Cynomys mexicanus* y la biodiversidad de su ecosistema.

Palabras clave: Biomasa; calidad de hábitat; vegetación halófitas; indicadores de salud; matorral.

Abstract

In Nuevo Leon, Mexico, three protected natural areas (PNA) have been declared to conserve *Cynomys mexicanus*; however, agricultural activities are still present within these areas, in conjunction with a lack of information related to their habitat condition. In this study, grassland health and biomass production were evaluated in three protected areas (la Trinidad, la Hediondilla and Llano la Soledad) to determine their functionality. The ecosystem health of La Hedionadilla was deteriorated, and its core zone showed the most critical functional status; additionally, it showed the highest annual production of biomass (0.53 Mg/ha^{-1}) due to land-use change and invasive vegetation. The productive activities in Llano La Soledad are mainly dedicated to cattle raising, and although the biomass production was lower (0.14 Mg/ha^{-1}), it showed the best health condition because its surface is restricted. The deteriorated health of grassland is a threat to *Cynomys mexicanus* and the biodiversity of its ecosystem.

Keywords: Biomass; habitat quality; halophytic vegetation; health indicators; scrubland.

Recibido: 18 de febrero de 2022

Aceptado: 27 de julio de 2022

Publicado: 07 de septiembre de 2022

Cómo citar: Zaragoza-Quintana, E. P., Cotera-Correa, M., Scott-Morales, L. M., Pando-Moreno, M., Estrada-Castillón, A. E., & González-Rodríguez, H. (2022). Salud del ecosistema de pastizal y biomasa en áreas naturales protegidas para el perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*) en Nuevo León, México. *Acta Universitaria* 32, e3495. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2022.3495>

Introducción

Los pastizales son de los ecosistemas más amenazados en el mundo (Blair *et al.*, 2014), entre estos se encuentran los de México debido a su alto grado de deterioro (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología del Gobierno del Estado de Chihuahua [Conabio-Sedue], 2015; Sánchez *et al.*, 2009). Para algunos de estos ecosistemas se carece de información sobre su flora y dinámica de la vegetación (Álvarez-Lopezello *et al.*, 2016), se estima que menos del 1% de la superficie de pastizales se encuentra bajo algún esquema de conservación (Guzmán-Aranda *et al.*, 2012; Royo *et al.*, 2008). En general, los pastizales nativos del país han sido transformados por las actividades agrícolas, quedando algunas tierras abandonadas después de su uso (Panjabi *et al.*, 2010; Sánchez *et al.*, 2009). Esto genera que las especies vegetales nativas sean desplazadas por plantas introducidas, ocasionando una reducción en su superficie y amenazando fuertemente a su biodiversidad (Estrada *et al.*, 2010; Pineda, 2018; Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2016; Zaragoza-Quintana *et al.*, 2012). Asimismo, estos ecosistemas están sujetos a sobrepastoreo, propiciando la disminución de la cubierta vegetal y compactando el suelo, lo que modifica las condiciones para la germinación de semillas y el establecimiento de plántulas (Guzmán-Aranda *et al.*, 2012; Menegaz & Arellano, 2016). Por lo tanto, se dificulta la recuperación del pastizal, se erosiona el suelo, se reduce la calidad del hábitat y prevalece la fragmentación del ecosistema (Echavarría-Cháirez & Rubio-Aguirre, 2020; Senra, 2009).

Los pastizales halófilos del Altiplano Mexicano pertenecen al desierto chihuahuense (Guzmán-Aranda *et al.*, 2011). Estos comprenden una comunidad con peculiaridades en la composición de los suelos y asociaciones vegetales que los caracteriza como una región única (Estrada *et al.*, 2010; González, 2002), con especies endémicas y en peligro de extinción (Arriaga *et al.*, 2000). Un habitante endémico de estos pastizales es el perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*, Merriam, 1892) que vive en colonias compuestas por grupos familiares (González, 2002) y es considerada una especie en peligro de extinción (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2010). Su presencia es clave para la funcionalidad del ecosistema, ya que contribuye en el crecimiento de pastos nativos y controla la invasión de especies arbustivas; además, es fuente de alimento para algunas especies, por lo que favorece la biodiversidad tanto de flora como de vertebrados (Ceballos, *et al.*, 1999; Medellín & Bárcenas, 2021). La pérdida y fragmentación de su hábitat, a consecuencia de la agricultura intensiva, redujeron su distribución natural en un 75% en las últimas tres décadas (Pineda, 2018; Scott-Morales *et al.*, 2004; 2006), provocando su extirpación en el estado de Zacatecas (Ríos-Muñoz *et al.*, 2017). Por esta razón, en el año 2002, el gobierno del Estado de Nuevo León decretó tres áreas naturales protegidas (ANP) con el carácter de zonas sujetas a conservación ecológica (ZSCE), que en conjunto abarcan cerca de 15 272 ha, con la finalidad de conservar al perrito llanero mexicano y su hábitat (Secretaría General del Gobierno, 2002).

A pesar de su protección legal, las actividades agropecuarias continúan dentro y fuera de estas ZSCE con diferentes impactos, de acuerdo con el uso productivo desarrollado (Consortio Forestal del Norte de México, 2011; Hernández, 2010). Por ejemplo, la práctica agrícola mecanizada modifica la flora nativa y las características del suelo (Estrada *et al.*, 2010; Torres *et al.*, 2016), de tal manera que los relieves de los surcos permanecen por lo menos 11 años, tiempo en el cual la vegetación nativa comienza a incrementar su cobertura (Yen, 2006; Zaragoza-Quintana *et al.*, 2012). Además, se ha documentado que áreas de cultivo abandonadas que no son recolonizadas llegan a ser fuertemente invadidas por plantas arbustivas e invasoras, ocasionando que el perrito llanero mexicano ya no retorne a estos sitios (González, 2011; Zaragoza-Quintana *et al.*, 2012). Asimismo, el sobrepastoreo en los pastizales favorece la abundancia de malezas (Blair *et al.*, 2014; Estrada *et al.*, 2010), reduce la cobertura vegetal aumentando la proporción de suelo desnudo (Souther *et al.*, 2019) y propicia una pérdida en la productividad del sitio (Blair *et al.*, 2014). Estas perturbaciones afectan la resiliencia del ecosistema provocando pérdidas de agua, salinización por el uso de riego inadecuado, transporte de sedimentos, uso de sustancias químicas que afectan la calidad del suelo y la pérdida de nutrientes (Duniway *et al.*, 2010; Sathaye & Meyers, 1995).

De acuerdo con los programas de manejo, las ZSCE del perrito llanero mexicano cuentan con una zonificación que regula las actividades agrícolas y pecuarias dentro de ellas (Guadarrama *et al.*, 2003a, 2003b, 2003c). Sin embargo, se carece de información relacionada con la salud del ecosistema dentro de las ANP establecidas para la conservación de *C. mexicanus* que permita establecer la eficacia en la protección del hábitat de las colonias más grandes de esta especie en Nuevo León. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar la salud del ecosistema de las áreas naturales que protegen al perrito llanero mexicano, por medio de la evaluación de los atributos funcionales Estabilidad del sitio/suelo, Funcionalidad hidrológica e Integridad biótica, a la par de estimar y comparar la producción de biomasa aérea de cada área protegida.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio comprendió las ANP estatales La Trinidad, La Hediondilla y Llano La Soledad, con una extensión de 33.02 km², 43.73 km² y 76.07 km², respectivamente, ubicadas en el municipio de Galeana, Nuevo León (Figura 1). El clima es seco con una precipitación anual de 300 mm (Guadarrama *et al.*, 2003a, 2003b, 2003c). Las ZSCE representan un mosaico biológico de más de 200 especies de vertebrados y 284 especies de plantas (Conabio, 2008; Guadarrama *et al.*, 2003a, 2003b, 2003c). El pastizal halófito, dominado por *Muhlenbergia villiflora* es la principal comunidad vegetal y está rodeado de matorral xerófilo-micrófilo, con *Larrea tridentata* y *Flourenzia cernua* como componentes principales (Estrada *et al.*, 2010).

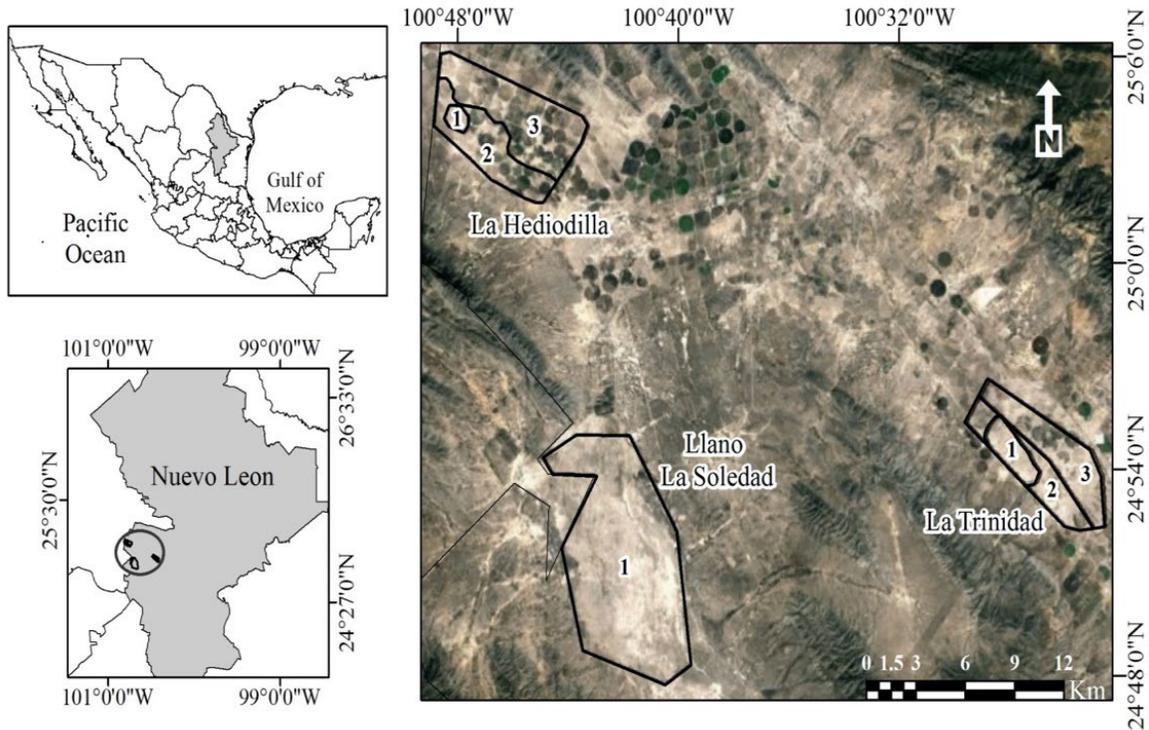


Figura 1. Ubicación y zonas de manejo de las zonas sujetas a conservación ecológica en el municipio de Galeana, Nuevo León. 1) Zona núcleo de uso restringido, 2) Zona de amortiguamiento de aprovechamiento sustentable de agroecosistemas, 3) Zona de amortiguamiento de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

Fuente: Elaboración propia con imagen de relieve obtenida de la plataforma de Google Earth (22 de junio, 2021).

Cada área protegida cuenta con una zona núcleo de uso restringido (ZN) que busca mantener las condiciones naturales del ecosistema. Además, La Hediondilla y La Trinidad contemplan dos zonas de manejo (Figura 1): zona de amortiguamiento de aprovechamiento sustentable de agroecosistemas (ZASA) y zona de amortiguamiento de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (ZARN), orientadas a regular las actividades agropecuarias (Guadarrama *et al.*, 2003a, 2003b, 2003c; Semarnat, 2004).

Evaluación de la salud del ecosistema

Se evaluó mensualmente (de febrero de 2010 a enero de 2011) la condición de la salud del ecosistema de las tres ZSCE. De forma sistemática, se establecieron transectos y parcelas permanentes en las que se seleccionaron y evaluaron ocho indicadores que determinan los atributos Estabilidad del sitio/suelo, Funcionalidad hidrológica e Integridad biótica (Tabla 1), de acuerdo con el método cualitativo sugerido por Pellant *et al.* (2005). Los datos de cada indicador se obtuvieron a través de la observación del grado de diferencia de la descripción del sitio ecológico, mediante las categorías descriptivas extrema (E), moderada a extrema (Mo), moderada (M), ligera a moderada (L) y nula a ligera (N) descritas para cada indicador, donde *nula a ligera* representa una categoría sin deterioro, mientras que *extrema* significa mayor deterioro (Pellant *et al.*, 2000).

Tabla 1. Indicadores utilizados en la evaluación de la salud del ecosistema y tipo de atributo al que corresponden: Estabilidad del sitio/suelo (S), Funcionalidad hidrológica (H) e Integridad biótica (B).

Indicador	Descripción	Atributo
1. Pedestales y/o terracetas	Rocas o plantas que aparecen elevadas como un resultado de la pérdida de suelo por erosión de agua o viento (Anderson, 1974; Morgan, 1986).	S, H
2. Área de suelo desnudo	Suelo orgánico o mineral que es susceptible a la erosión debido al golpe de las gotas de lluvias, que es la forma inicial de erosión por agua (Morgan, 1986).	S, H
3. Resistencia de la superficie del suelo a la erosión	La resistencia depende de la estabilidad del suelo, microtopografía y la variabilidad espacial en la estabilidad del suelo debido a la cobertura y topografía (Morgan, 1986).	S, H, B
4. Compactación del suelo	Se refiere al endurecimiento de la capa de suelo cercana a la superficie debido al impacto repetido o disturbio de la superficie del suelo (Wallace, 1987).	S, H, B
5. Disminución de la cobertura aérea	Las plantas o partes de las plantas, vivas o muertas sobre la superficie del suelo (Pellant et al., 2000).	S, H, B
6. Plantas invasoras	Plantas que no se presentan en el área de interés bajo condiciones naturales o que sus poblaciones se han incrementado por arriba de lo normal (Pellant et al., 2000).	B
7. Fragmentación de la costra biológica	Microorganismos y plantas no vasculares que crecen sobre o justamente bajo la superficie del suelo (Pellant et al., 2000).	S, H, B
8. Producción anual	Indicador de la energía capturada por plantas y su disposición para consumidores secundarios en un ecosistema de ciertas características climáticas (Whittaker, 1975).	B

Fuente: Pellant *et al.* (2000).

Considerando el tamaño de la superficie de cada área protegida, el número de transectos y parcelas varió de la siguiente manera: en La Trinidad se establecieron 30 parcelas sobre cinco transectos de 2.6 km cada uno, en La Hediondilla 32 parcelas en cuatro transectos de 4 km cada uno y en el Llano La Soledad 60 parcelas en cinco transectos de 6 km cada uno. En cada transecto se establecieron parcelas permanentes de 10 m x 10 m (con una equidistancia de 500 m), y dentro de estas se ubicaron mensualmente al azar dos subparcelas de 1.0 m²; en las primeras se midieron los indicadores que requirieron de un horizonte amplio para su apreciación (indicadores 1 y 5) y dentro de las subparcelas el resto de los indicadores que demandaron mayor exactitud en su percepción (indicadores del 2 al 8). La mayoría de las parcelas se situaron dentro del área de pastizal halófito, sin embargo, algunas quedaron en la zona de matorral xerófilo-micrófilo (donde predominan las plantas arbustivas). Por consiguiente, se interpretó de forma separada la condición de la salud de ambos ecosistemas.

Producción de biomasa

Cada mes se estimó la producción de biomasa aérea en las tres ZSCE. De acuerdo con las características de la vegetación de las parcelas, se calculó la producción de biomasa del pastizal dentro de las subparcelas de 1.0 m² mediante el corte de la vegetación a 3 cm sobre la superficie del suelo. Asimismo, se estimó la biomasa de arbustos en las parcelas de 100 m² y la biomasa de vegetación invasora dentro de las subparcelas de 1.0 m², ambos con el método no destructivo de Adelaide, que consta de una muestra (rama) que representa la especie de interés y se emplea para medir el número de veces que la muestra de referencia cabe en dicha especie (Andrew *et al.*, 1979; Andrew *et al.*, 1981). Todas las muestras vegetales se depositaron en bolsas de papel, posteriormente, fueron secadas en estufa (Felisa FE-293D) a una temperatura de 75 °C durante 72 horas y, finalmente, se pesaron en una balanza digital (Sartorius LC 620 S) para determinar su biomasa.

Análisis estadísticos

Con los datos categóricos de cada indicador se generaron tablas de frecuencia con las que se estableció el estado funcional (categoría) que mejor describió cada atributo, esto con base en la elección de las categorías descriptivas que se observaron con mayor frecuencia durante la evaluación de los indicadores (Pellant *et al.*, 2005). Esta evaluación incluyó el análisis de todas las observaciones recabadas durante la medición de cada atributo (Pellant *et al.*, 2005) e información recopilada de los programas de manejo de cada ANP (Guadarrama *et al.*, 2003a, 2003b, 2003c), lo que permitió llegar al criterio que definió la condición de salud del ecosistema de cada zona de manejo en las tres ZSCE.

Para comprobar la normalidad de los datos de la producción de biomasa aérea se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, y para cada tipo de biomasa se calculó la estadística descriptiva (Zar, 2010). Por medio de gráficos se visualizó la producción promedio mensual de biomasa aérea entre las zonas de manejo de cada área evaluada y entre ANP, esto con base en las condiciones hídricas del año evaluado a partir de los datos de precipitación mensual acumulada, obtenidos de las estaciones climatológicas 19182-San Roberto y 5136-Las Hormigas de la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2020). Mediante el análisis de Kruskal-Wallis se evaluó si existieron diferencias en la producción mensual de biomasa dentro de cada área protegida y en la producción anual de biomasa entre ellas (Zar, 2010). Para determinar cuál de las ANP fue diferente con respecto a su producción anual, se realizó un análisis *post hoc* de comparación múltiple, con la función "kruskalmc" del paquete "pgirmess" (Giraudoux, 2022) para el lenguaje de programación R. Los análisis estadísticos se realizaron con el *software* Statistica versión 7 (StatSoft, Inc., 2004) y el *software* R versión 4.0.2 (R Core Team, 2020).

Resultados

Salud del ecosistema

En La Trinidad, la condición del pastizal correspondió a la categoría de *nula a ligera* en ambas zonas de manejo (Tabla 2). En contraste, la ZN presentó el estado funcional *moderado* en los dos primeros atributos (Tabla 2); asimismo, los tres atributos obtuvieron la categoría de *nula a ligera*, lo que indicó que dentro de esta misma zona de manejo existieron dos tipos de condición de salud definidos por la Estabilidad del sitio/suelo y la Funcionalidad hidrológica del pastizal. Situación similar ocurrió para el área de matorral (que únicamente estuvo presente en la ZASA), ya que presentó dos estados funcionales en los atributos S y H; no obstante, de manera general, la condición de su salud fue *extrema* (Tabla 2).

Tabla 2. Salud del ecosistema por zona de manejo en las zonas sujetas a conservación ecológica (ZSCE).

ZSCE	Ecosistema	Zona de manejo	Estado funcional		
			S	H	B
La Trinidad	Pastizal	ZN	Mo, N	Mo, N	N
		ZASA	N	N	N
		ZARN	N	N	N
La Hediodilla	Pastizal	ZN	E	E	N
		ZASA	N	N	N
		ZARN	N	N	N
Llano La Soledad	Pastizal	ZN	E	E	E
		ZASA	N	N	N
		ZARN	N	N	N
Llano La Soledad	Matorral	ZN	E	E	E
		ZASA	N, E	N, E	E
		ZARN	N, E	N, E	E

Zona núcleo de uso restringido (ZN); zona de amortiguamiento de aprovechamiento sustentable de agroecosistemas (ZASA); zona de amortiguamiento de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (ZARN).
Atributos: Estabilidad del sitio/suelo (S), Funcionalidad hidrológica (H), Integridad biótica (B). Estado funcional: nula a ligera (N), moderada a extrema (Mo), extrema (E).
Fuente: Elaboración propia.

La salud del pastizal de la ZN de La Hediondilla fue *extrema* para los atributos S y H, en tanto que la salud del matorral (solo presente en la ZN) tuvo el estado de *extremo* en todos sus atributos (Tabla 2). El resto de las zonas de La Hediondilla presentaron una condición de salud sin deterioro (Nula a ligera). En el Llano La Soledad, los tres atributos determinaron una salud del ecosistema de pastizal sin deterioro (Nula a ligera), mientras que la evaluación del matorral indicó una condición de salud *extrema* en cuanto a todos los atributos (Tabla 2).

Producción de biomasa

La Trinidad presentó una producción media anual de biomasa total de 0.40 Mg/ha⁻¹ (Tabla 3). La ZN tuvo una mayor producción promedio en julio con 0.44 Mg/ha⁻¹ (Figura 2), en tanto que la ZASA presentó dos picos de producción: uno en julio (3.09 Mg/ha⁻¹) y otro en noviembre (0.97 Mg/ha⁻¹), además fue la zona de manejo con mayor producción anual de biomasa, promediando 0.65 Mg/ha⁻¹ (Tabla 3). La ZARN mostró mayor producción de biomasa en el mes de julio con una media de 0.74 Mg/ha⁻¹ (Figura 2). De acuerdo con las diferentes comunidades vegetales presentes en La Trinidad, la biomasa de plantas invasoras fue la de mayor producción anual dentro del área (2.01 Mg/ha⁻¹) (Tabla 3). Con relación a zonas de manejo, la ZN de La Trinidad registró un promedio anual de 0.20 Mg/ha⁻¹ de biomasa de pastizal, en tanto que la ZASA tuvo una producción anual de plantas invasoras de 2.56 Mg/ha⁻¹ (Tabla 3). La ZARN produjo una media anual de biomasa de pastizal de 0.98 Mg/ha⁻¹, seguida de 0.89 Mg/ha⁻¹ de biomasa de vegetación invasora (Tabla 3).

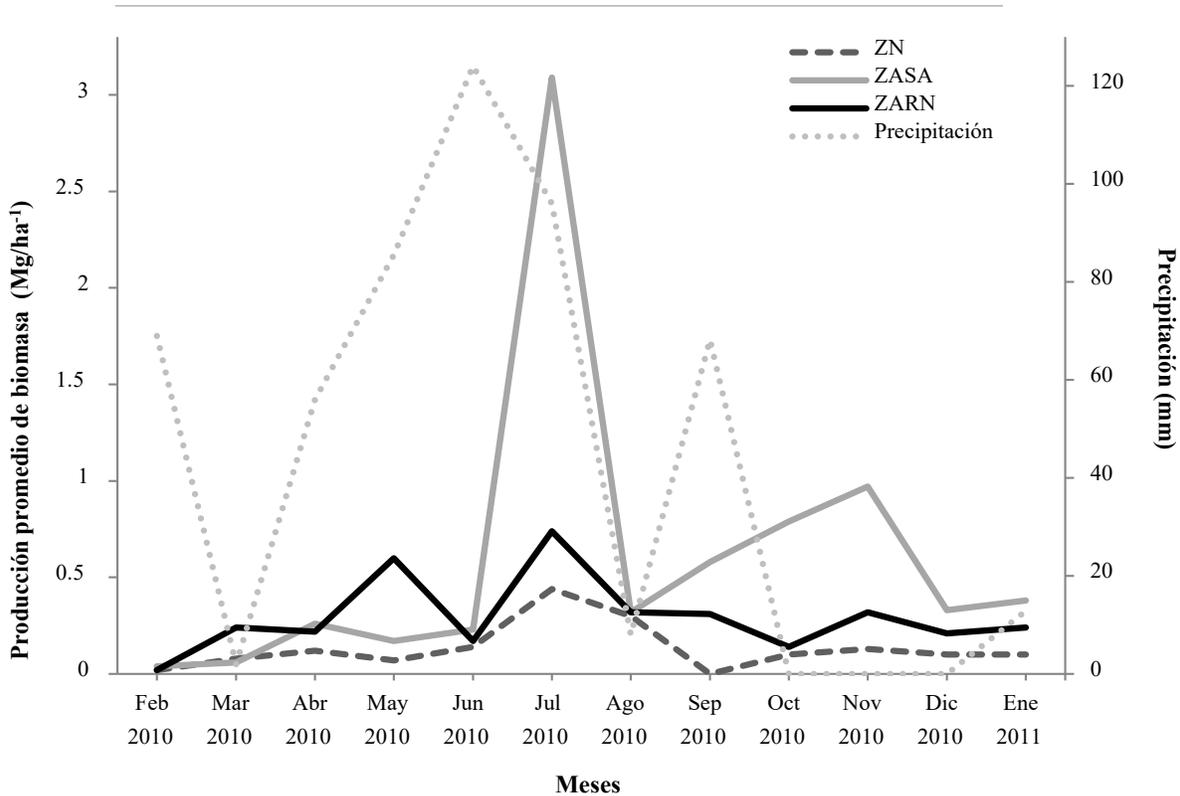


Figura 2. Producción mensual de biomasa de las zonas de manejo en la zona sujeta a conservación ecológica La Trinidad.
 Nota. Datos de precipitación de la estación climatológica 19182-San Roberto, Galeana, Nuevo León. ZN: zona núcleo de uso restringido; ZASA: zona de amortiguamiento de aprovechamiento sustentable de agroecosistemas; ZARN: zona de amortiguamiento de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.
 Fuente: Elaboración propia.

El ANP La Hediondilla registró una producción promedio anual de biomasa total de 0.53 Mg/ha⁻¹ (Tabla 3). Con respecto a la producción media mensual, la ZN alcanzó en enero 0.44 Mg/ha⁻¹, en tanto que la ZARN mostró en julio su máxima producción mensual con 0.22 Mg/ha⁻¹ (Figura 3). La ZASA destacó con tres picos de producción de biomasa aérea, promediando tanto en julio como en diciembre 2.5 Mg/ha⁻¹ y en octubre 1.05 Mg/ha⁻¹ (Figura. 3); por lo tanto, fue la zona de manejo que produjo mayor cantidad de biomasa aérea con una media anual de 0.88 Mg/ha⁻¹ (Tabla 3). Considerando las diferentes comunidades vegetales en La Hediondilla, la producción anual de plantas invasoras fue la mayor durante el año evaluado (2.23 Mg/ha⁻¹) (Tabla 3). En cuanto a sus zonas de manejo, la ZN tuvo una mayor producción promedio anual de 0.15 Mg/ha⁻¹ de biomasa aérea de pastizal, en tanto que la ZASA y ZARN produjeron la mayor cantidad anual de biomasa de vegetación invasora con una media de 2.42 Mg/ha⁻¹ y 0.51 Mg/ha⁻¹, respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3. Promedio anual de biomasa (Mg/ha^{-1}) \pm error estándar por zona de manejo y tipo de biomasa para cada zona sujeta a conservación ecológica (ZSCE).

ZSCE	Biomasa total	Biomasa de pastizal	Biomasa de arbustos	Biomasa de plantas invasoras
La Trinidad	0.40 ± 0.08	0.49 ± 0.19	0.02 ± 0.006	2.01 ± 0.71
ZN	0.13 ± 0.01	0.20 ± 0.02	0.00	0.00
ZASA	0.65 ± 0.19	0.38 ± 0.06	0.03 ± 0.01	2.56 ± 1.05
ZARN	0.27 ± 0.04	0.98 ± 0.70	0.005 ± 0.004	0.89 ± 0.20
La Hediondilla	0.53 ± 0.07	0.19 ± 0.02	0.01 ± 0.004	2.23 ± 0.35
ZN	0.13 ± 0.02	0.15 ± 0.03	0.09 ± 0.03	0.00
ZASA	0.88 ± 0.13	0.33 ± 0.05	0.006 ± 0.003	2.42 ± 0.39
ZARN	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.00	0.51 ± 0.14
Llano La Soledad (ZN)	0.11 ± 0.01	0.14 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.00

Zona núcleo de uso restringido (ZN); zona de amortiguamiento de aprovechamiento sustentable de agroecosistemas (ZASA); zona de amortiguamiento de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (ZARN).

Fuente: Elaboración propia.

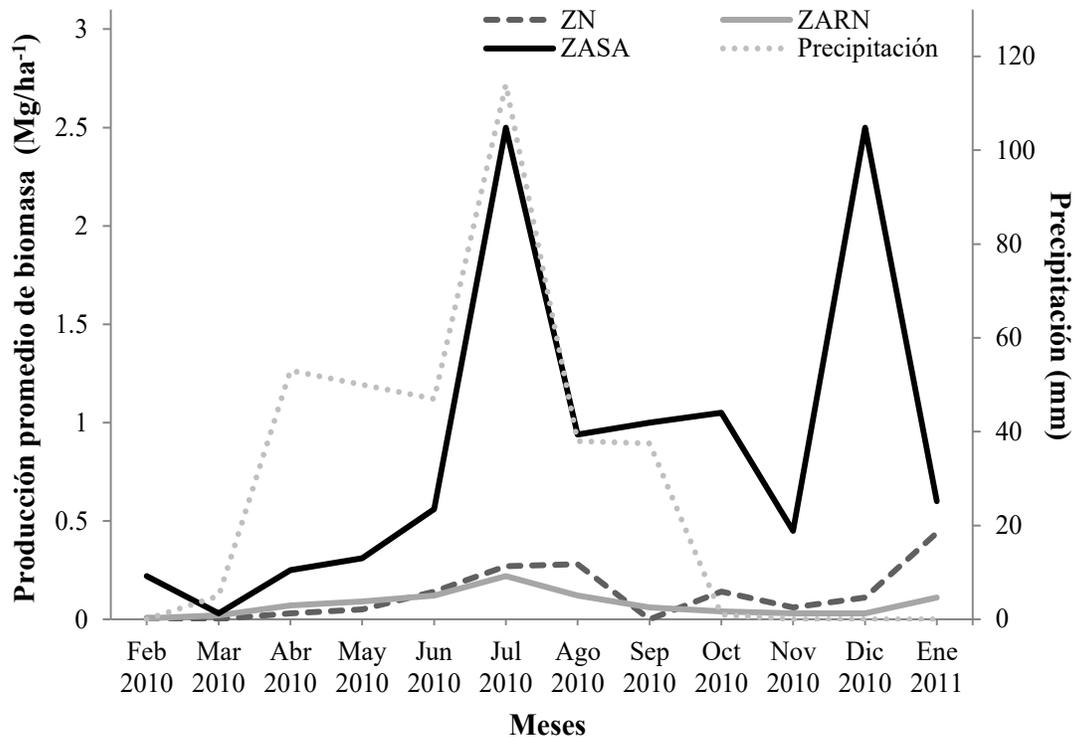


Figura 3. Producción mensual de biomasa de las zonas de manejo en la zona sujeta a conservación ecológica La Hediondilla.

Nota. Datos de precipitación de la estación climatológica 5136-Las Hormigas, Saltillo, Coahuila. ZN: zona núcleo de uso restringido; ZASA: zona de amortiguamiento de aprovechamiento sustentable de agroecosistemas; ZARN: zona de amortiguamiento de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

Fuente: Elaboración propia.

La producción promedio anual de biomasa total en el Llano La Soledad fue de 0.11 Mg/ha⁻¹ (Tabla 3). Durante los meses evaluados se presentaron diversos incrementos de biomasa aérea: en marzo con una media de 0.17 Mg/ha⁻¹, en julio 0.21 Mg/ha⁻¹ y en diciembre 0.16 Mg/ha⁻¹ (Figura 4). En esta área protegida se registraron únicamente biomasa de arbustos y de pastizal, de las cuales destacó la segunda con 0.14 Mg/ha⁻¹ de producción media anual (Tabla 3).

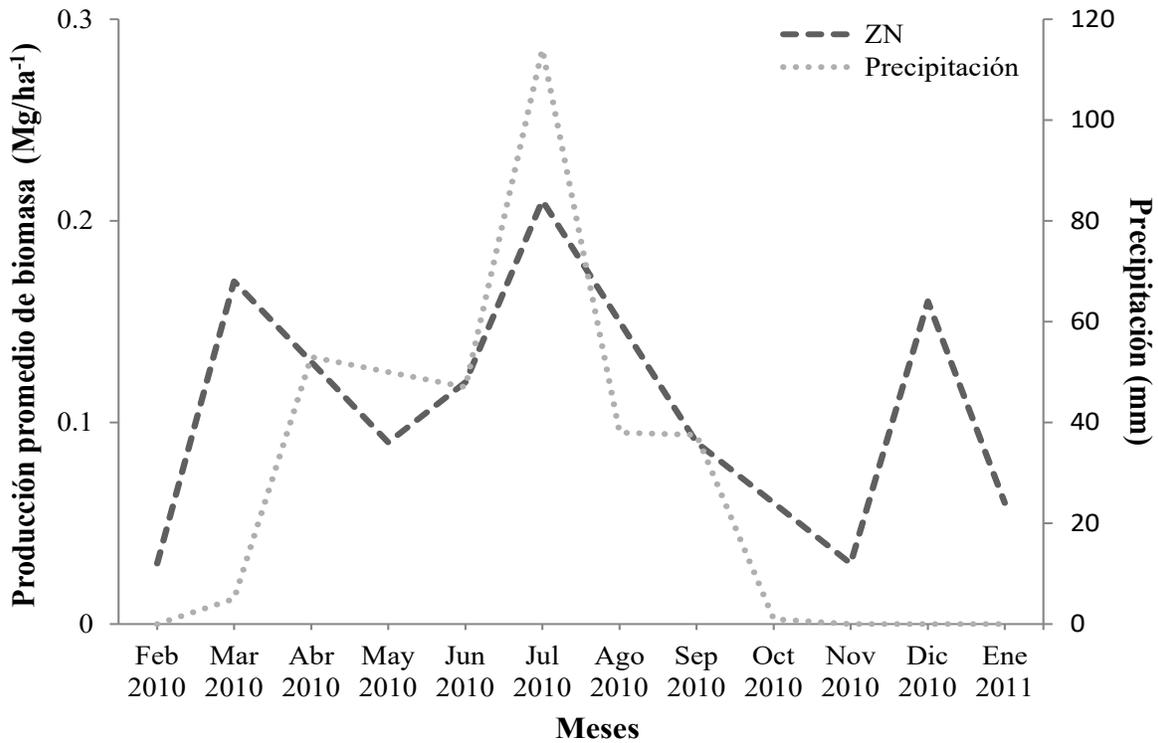


Figura 4. Producción mensual de biomasa en la zona sujeta a conservación ecológica Llano La Soledad.
Nota. Datos de precipitación de la estación climatológica 5136-Las Hormigas, Saltillo, Coahuila. ZN: zona núcleo de uso restringido.
Fuente: Elaboración propia.

La producción anual de biomasa difirió entre áreas protegidas ($H_{(2, N = 2322)} = 23.62, p < 0.001$). De acuerdo al análisis *post hoc* de comparación múltiple, el ANP que registró la mayor producción anual de biomasa total fue La Hediondilla (Tabla 3). Para cada área de estudio la producción mensual de biomasa fue diferente entre los meses de muestreo (La Trinidad: $H_{(11, N = 630)} = 46.08, p < 0.001$; La Hediondilla: $H_{(11, N = 612)} = 38.32, p = 0.001$; Llano La Soledad: $H_{(11, N = 1080)} = 104.88, p < 0.001$). En las tres áreas protegidas, julio fue el mes con el mayor promedio de productividad de biomasa aérea: La Trinidad 1.82 Mg/ha⁻¹, La Hediondilla 1.57 Mg/ha⁻¹ y Llano La Soledad 0.21 Mg/ha⁻¹ (Figura 5). Particularmente, La Trinidad presentó en noviembre un segundo pico de producción con una media de 0.60 Mg/ha⁻¹, mientras que para La Hediondilla y el Llano La Soledad un segundo incremento considerable ocurrió en diciembre con 1.50 Mg/ha⁻¹ y 0.16 Mg/ha⁻¹, respectivamente (Figura 5).

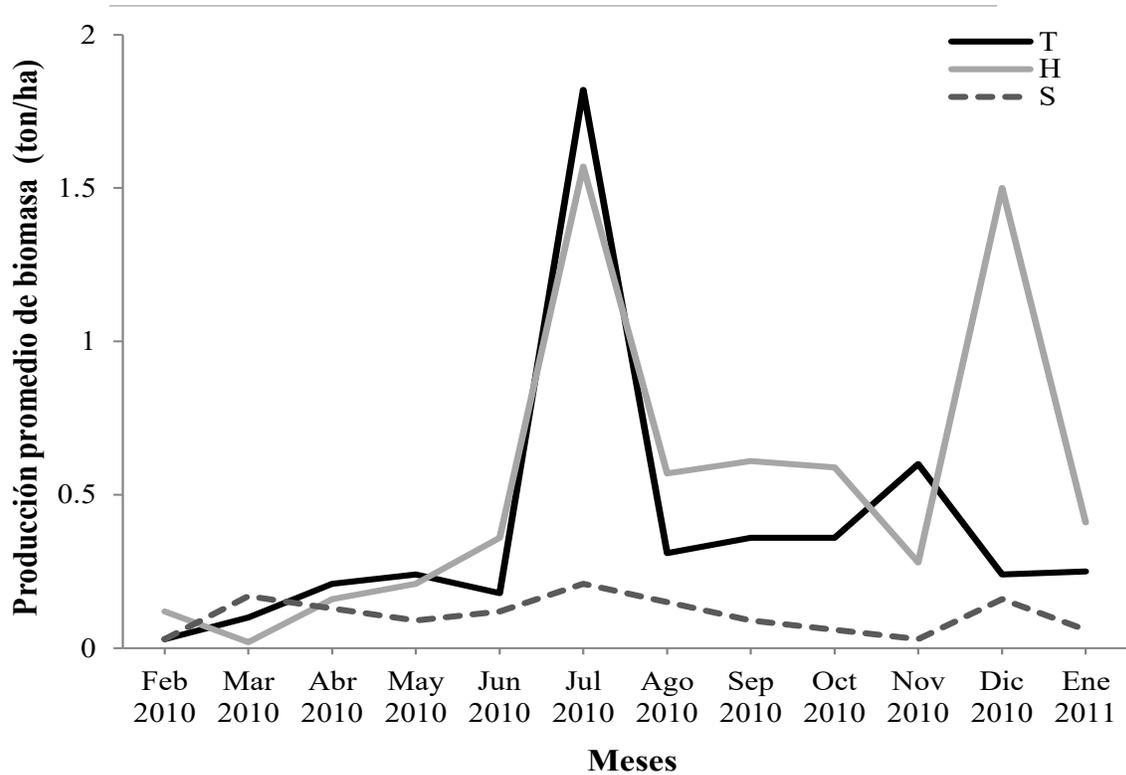


Figura 5. Producción mensual de biomasa en la zona sujeta a conservación ecológica La Trinidad (T), La Hediondilla (H) y Llano La Soledad (S). Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Salud del ecosistema

Las dos zonas de manejo de La Trinidad en el área de pastizal no presentaron ninguna afectación en su salud. Por el contrario, en la ZN se identificó un moderado deterioro en los atributos funcionales Estabilidad del sitio/suelo y Funcionalidad hidrológica, a pesar de ser un sitio de uso restringido. Esto puede ser consecuencia de la heterogeneidad de la zona a causa de los cambios que ha sufrido su cobertura y composición florística debido a la agricultura (Hernández, 2010; Yen, 2006), que comenzó a intensificarse en la década de 1990 (Zaragoza-Quintana *et al.*, 2012), además del sobrepastoreo (Guadarrama *et al.*, 2003b; Hernández, 2010) y la creación de nuevos caminos (Guadarrama *et al.*, 2003b). Ochoa (2006) observó resultados similares a los de la ZN de La Trinidad, ya que una evaluación de la salud del pastizal realizada en colonias de *Cynomys ludovicianus*, en general, mostró un estado de degradación moderado a causa de la presencia o ausencia que *C. ludovicianus* tienen sobre el pastizal, así como por la actividad ganadera que, en Janos, Chihuahua, es significativamente mayor a la del resto del país.

De forma conjunta, la ZN de La Trinidad presentó un estado funcional sin alteración en su Estabilidad del sitio/suelo y Funcionalidad hidrológica. Obtener esta condición en ambos atributos indica que dentro de la ZN se encontraron parcelas con escasa afectación en los recursos del suelo (incluyendo nutrientes y material orgánico) y en su dinámica hídrica (almacenamiento y liberación de agua) (Pellant *et al.*, 2005; Printz *et al.*, 2014). Con respecto a la salud del matorral de esta ANP, esta reflejó un estado extremadamente modificado debido a que también ha sufrido el impacto agrícola al ser transformado a cultivos de papa y alfalfa (Estrada *et al.*, 2010; Hernández, 2010). Simultáneamente, sobre este tipo de vegetación ocurrió el apacentamiento de ganado caprino, bovino y equino, que junto con la agricultura ocasionaron entre 1971 y 2003 una reducción del 35.6% de su superficie original en La Trinidad (Hernández, 2010), lo que en conjunto pudo afectar severamente la salud de la ZSCE. No obstante, el matorral también mostró una condición de salud prácticamente sin deterioro en los atributos S y H, lo que indica la presencia de sitios que mantuvieron tanto las propiedades del suelo como su capacidad hidrológica (Pellant *et al.*, 2005; Printz *et al.*, 2014).

En el área protegida La Hediondilla, la ZN se caracterizó por presentar un estado crítico o deterioro extremo en la salud de sus ecosistemas (pastizal y matorral); el resto de las zonas de manejo no mostraron deterioro. Históricamente, La Hediondilla es uno de los pastizales halófilos del Altiplano Mexicano que ha perdido gran parte de su cobertura vegetal original (Estrada *et al.*, 2010; Yen, 2006). Sin embargo, a pesar de que dentro de su ZN no se observó ningún cambio de uso de suelo, al menos hasta el año 2011 (Zaragoza-Quintana *et al.*, 2012), los resultados del presente estudio indican que existen algunos factores que podrían estar repercutiendo considerablemente en su salud. Por ejemplo, la superficie que comprende esta zona de uso restringido es mucho menor (menos del 10%) con respecto a la extensión de las otras zonas de manejo (Guadarrama *et al.*, 2003c). Además, la ZN ha sido rodeada por caminos y parcelas circulares para uso agrícola, algunas de las cuales posteriormente se recolonizaron con vegetación invasora (Zaragoza-Quintana, 2011). Estos disturbios podrían afectar la resistencia y resiliencia de la zona a través de efectos indirectos, ya que, de acuerdo con Duniway *et al.* (2010), la salud de los pastizales puede afectarse negativamente ante la presencia de carreteras y caminos en áreas adyacentes, alterando así la función hidrológica y la estabilidad del suelo y del sitio, lo que ocasionaría un impacto en la función ecológica del ecosistema.

El atributo Integridad biótica no presentó afectación alguna en el estado funcional de la zona núcleo de La Hediondilla y de La Trinidad, lo cual indica que en ambas zonas se mantuvieron tanto las características funcionales del pastizal como la estructura de sus comunidades en un contexto de variabilidad normal y una capacidad de resiliencia presente en los sitios (Blair *et al.*, 2014; Pellant *et al.*, 2005). Caso contrario ocurre en un pastizal mediano abierto de Zacatecas, en el que este atributo es el más deteriorado a causa del sobrepastoreo que ocasiona la disminución de cobertura vegetal, además, el ganado pastorea libremente, repercutiendo en la producción de materia seca y en la función productiva de ese ecosistema (Echavarría-Cháirez *et al.*, 2015).

El Llano La Soledad es el área protegida que en los últimos 40 años ha presentado menor cambio de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal nativa (Estrada *et al.*, 2010; Zaragoza-Quintana *et al.*, 2012), debido a que toda la superficie de la ZSCE es de uso restringido, lo que limita las actividades agrícolas en su interior (Guadarrama *et al.*, 2003a). Esta escasa actividad pudo influir sobre la salud del pastizal, ya que no presentó ningún tipo de deterioro. Sin embargo, el área de matorral reflejó una salud extremadamente alterada. Al respecto, en el Llano La Soledad se tiene registro de que en este tipo de vegetación la riqueza de especies es alta, la cual está relacionada con los disturbios que ocasiona principalmente el sobrepastoreo de ganado caprino, vacuno y equino, que ha sido una actividad común dentro de la ANP (Estrada *et al.*, 2010; González *et al.*, 2017; Yen, 2006). La presencia de este tipo de ganado podría estar relacionada con la deteriorada salud que mostró esta comunidad vegetal en el presente estudio. Los indicadores que resultaron con las categorías extremas en el matorral (tales como área de suelo desnudo, compactación del suelo y fragmentación de la costra biológica) están asociados a los impactos negativos que generan las actividades ganaderas (Duniway *et al.*, 2010; Guzmán-Aranda *et al.*, 2012; Menegaz & Arellano, 2016).

A partir del presente estudio se pudo detectar que específicamente las ZN de La Hediondilla y La Trinidad manifestaron importantes alteraciones en la salud del hábitat del perrito llanero mexicano, por lo que se considera apropiada una revisión y actualización de sus planes de manejo, ya que aparentemente estas zonas no están cumpliendo con el objetivo de mantener las condiciones naturales del ecosistema y su conservación a corto, mediano y largo plazo (Guadarrama *et al.*, 2003b, 2003c). Particularmente, se sugiere como estrategia reconsiderar un aumento de superficie de la ZN de La Hediondilla o la eliminación de caminos que cruzan a través de esta, así como la implementación de programas sobre el uso del suelo de las áreas circundantes para mejorar la salud del ANP. Respecto a La Trinidad, debe atenderse con especial énfasis aquellos atributos funcionales que definieron tanto el deterioro de la ZN como de la ZASA, por ejemplo, mediante protocolos y acciones a corto plazo (como el manejo del ganado) que contribuyan en la mejora y mantenimiento de la calidad del sitio, con el fin de disminuir el deterioro de estos pastizales y matorrales, los cuales están sufriendo una rápida transformación con preocupantes consecuencias sobre sus funciones ecológicas (Echavarría-Cháirez & Rubio-Aguirre, 2020; Souther *et al.*, 2019).

Debido a que las tres ANP albergan las colonias más extensas que existen del perrito llanero mexicano en Nuevo León (Guadarrama *et al.*, 2003a, 2003b, 2003c), es sustancial atender las sugerencias señaladas en beneficio de *C. mexicanus* y asegurar su papel ecológico que como especie clave representa para la comunidad del pastizal. Un hábitat de buena calidad es necesario para la presencia del perrito llanero mexicano y en un momento determinado para favorecer el incremento de sus poblaciones, así como de las especies de fauna relacionadas con la distribución de este mamífero, tales como la zorra norteña *Vulpes macrotis*, el tejón *Taxidea taxus*, el águila real *Aquila chrysaetos* y el gorrión de Worthen *Spizella wortheni* (Conabio, 2008; Contreras-Balderas *et al.*, 2008).

Producción de biomasa

La producción de biomasa de La Trinidad y La Hediondilla estuvo integrada de plantas invasoras, pastizal y matorral natural. Particularmente, la ZN de La Trinidad destacó por presentar únicamente biomasa de pastizal; en contraste, la ZASA, aparte de ser la zona que registró la mayor producción anual de biomasa, tuvo los mayores promedios anuales de biomasa de plantas arbustivas e invasoras. Esto se debió a que en su interior se ha desarrollado con más intensidad la agricultura (Hernández, 2010; Zaragoza-Quintana, 2011), lo que ha generado la formación de considerables parches de vegetación invasora, algunos presentes desde el año 2000 (Zaragoza-Quintana *et al.*, 2012). La ZARN tuvo el mayor promedio anual de biomasa de pastizal debido a que es una zona de aprovechamiento con menos actividades antrópicas, lo que ha dejado una mayor superficie de pastizal nativo (Zaragoza-Quintana, 2011).

La Hediondilla también produjo grandes cantidades de biomasa de plantas invasoras, principalmente la ZASA, la cual además reportó el mayor promedio anual de biomasa de pastizal. Por tanto, fue la zona con más productividad primaria debido, en parte, al tamaño de su superficie y a que en esta se ha concentrado gran actividad agrícola, lo que ha ocasionado la presencia de numerosos sitios cubiertos de vegetación invasora y otros en proceso de recuperación natural (Yen, 2006; Zaragoza-Quintana *et al.*, 2012). No obstante que la ZARN también cuenta con diversos fragmentos en recuperación y con vegetación invasora, se presentó una menor producción de biomasa en el pastizal que puede estar relacionada a la intensidad del pastoreo en la zona (Zaragoza-Quintana, 2011). Con relación a la ZN (la cual es de tamaño considerablemente menor en comparación con las otras zonas de manejo), esta tuvo el mayor promedio anual de biomasa arbustiva y estuvo ausente de plantas invasoras, lo cual puede ser consecuencia de la restricción de actividades antrópicas en su interior (Guadarrama *et al.*, 2003c).

La productividad primaria fue diferente entre las tres ANP. La mayor producción anual de biomasa fue en La Hediondilla, seguida de La Trinidad y el Llano La Soledad, lo cual es consecuencia de las condiciones particulares de cada ZSCE. Por ejemplo, La Trinidad y La Hediondilla han sido pastizales sometidos a un fuerte impacto antropogénico por las actividades agrícolas y la apertura de caminos (Estrada *et al.*, 2010; Zaragoza-Quintana *et al.*, 2012), lo que ocasionó que su producción de biomasa estuviera fuertemente ligada con los cambios en sus coberturas. Especialmente La Hediondilla, además de ser el sitio que resultó con la salud más deteriorada, su productividad primaria estuvo influenciada por la presencia de sitios con vegetación invasora, que son resultado del cambio de uso de suelo que caracteriza a esta área protegida.

Medrano (2010) y Hernández-Gómez *et al.* (2013) mencionan que la máxima productividad de biomasa que registraron en La Hediondilla y en el Llano La Soledad fue entre los meses de julio y septiembre, de acuerdo con la temporada de lluvias de la región. Por otro lado, en el presente trabajo la vegetación reflejó el máximo incremento de producción en el mes de julio, es decir, poco después del paso del huracán "Alex" en el estado de Nuevo León, por lo que en general la dinámica de la biomasa en las tres ANP parece relacionarse con la precipitación del año evaluado (Conagua, 2020).

Las actividades antrópicas en el Llano La Soledad son escasas, por lo que la productividad primaria que se encontró en esta zona es similar a los reportados para esta zona protegida. El promedio anual de biomasa obtenido para la comunidad del pastizal del Llano La Soledad (0.14 Mg/ha^{-1}) fue similar a los registrados en otros trabajos desarrollados en la misma área (0.11 Mg/ha^{-1} en Medrano, 2010; 0.16 Mg/ha^{-1} y 0.13 Mg/ha^{-1} en Hernández-Gómez *et al.*, 2013), a pesar de que hubo diferencias en los tamaños de muestra y tratamientos de las parcelas evaluadas en cada estudio. En el caso de La Trinidad y La Hediondilla, la productividad media anual obtenida en este trabajo (0.49 Mg/ha^{-1} y 0.19 Mg/ha^{-1} , respectivamente) fue superior al estimado por Medrano (2010) para esta última área protegida (0.05 Mg/ha^{-1}). Pese a que el esfuerzo de muestreo entre ambos estudios fue similar, esta diferencia puede deberse a las características del fragmento evaluado por Medrano (2010), el cual era frecuentemente utilizado como agostadero para ganado caprino. En cambio, para el presente trabajo, la distribución de los puntos de muestreo al azar dentro de todas las zonas de La Trinidad y La Hediondilla permitió una mayor representación de la heterogeneidad de la comunidad vegetal de cada ANP.

Dado que la ganadería caprina es importante en las áreas de distribución del perrito llanero mexicano y la competencia por alimento con este es baja (Mellado *et al.*, 2005), se considera a partir de los presentes resultados que el uso de suelo debe ser enfocado (al menos en las ANP destinadas a esta especie) a impulsar la ganadería bajo un marco de pastoreo sostenible. Adicionalmente, la implementación de un monitoreo de los pastizales que incluya la cercanía a zonas urbanas (Hopson *et al.*, 2015), parámetros biofísicos (productividad secundaria, fertilidad del suelo, ciclo de nutrientes, temperatura acumulada) y el uso de herramientas tecnológicas como sensores e imágenes de detección remota (Xu & Guo, 2015), podrían ser de utilidad para comprender mejor la dinámica de las poblaciones de *C. mexicanus* y el manejo del ecosistema que habita.

Conclusiones

La ZSCE Llano La Soledad tuvo la mejor condición de salud, lo que la convierte en un área de importancia para la conservación de *C. mexicanus*, ya que representa el ANP de mayor tamaño en el área de distribución de este mamífero (aproximadamente 80 km²). En consecuencia, se considera crucial la conservación de esta área protegida para mantener y seguir estudiando las interacciones ecosistémicas presentes en el pastizal. Dado que la ganadería es la actividad productiva compatible con la presencia del perrito llanero mexicano, se sugiere ordenar en potreros el pastizal del Llano La Soledad para controlar el pastoreo e intensidad del consumo de forraje en esta zona. Además, una premisa para esta ANP es evitar la expansión de la frontera agrícola, ya que esta actividad es incompatible para la persistencia de *C. mexicanus*.

En contraste, las ZN de La Hediondilla y La Trinidad presentaron el mayor deterioro, por lo tanto, se considera que ambas zonas no están cumpliendo con los objetivos estipulados en sus respectivos programas de manejo, con relación a la protección y conservación del ecosistema que las caracteriza. En particular, para la ZN de la Hediondilla se recomiendan acciones relacionadas con el uso del suelo en áreas circundantes, tales como el manejo de la ganadería para evitar el sobrepastoreo y el pago por servicios ambientales. Para el caso de La Trinidad, se sugiere seguir protocolos que permitan disminuir el deterioro del pastizal y matorral, con el objetivo de mejorar la salud de su ecosistema. Igualmente, sería pertinente la revisión de la zonificación de estas dos áreas protegidas para reconsiderar un incremento en el tamaño de sus ZN (con especial énfasis para la Hediondilla), ya que la presión sobre estas a causa del sobrepastoreo pone en riesgo su eficacia en la conservación del perrito llanero mexicano.

Es preciso resaltar que, a pesar de la normatividad que protege a *C. mexicanus*, la actividad agrícola es una constante que no solo ocurre alrededor de las ZN, sino que en general se encuentra presente en toda la extensión de las ANP. Esta tendencia pone en riesgo tanto a las áreas protegidas como a la conservación de la especie, por lo que se considera oportuno el ordenamiento ecológico de las zonas que promuevan la conectividad entre las áreas. Por último, se recomienda impulsar apoyos y/o financiamientos correspondientes con las prácticas de la ganadería sostenible dentro de las áreas estudiadas, además de implementar monitoreos con apoyo de herramientas tecnológicas para tener un mayor conocimiento de los procesos y funciones que mantienen estos ecosistemas y brindar herramientas para la toma de decisiones y el manejo adecuado de estas ANP.

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL por las facilidades otorgadas para la realización de esta investigación. El primer autor agradece el apoyo de la beca 227571 del Conacyt para realizar estudios de maestría y a la SEP por el apoyo 511-6/2019-15979 para la realización de una estancia posdoctoral. La investigación fue financiada por el Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica de la UANL (CN 1351-06) y el Proyecto SEP-CONACYT (P-50340-II). A Cristian Martínez por su asesoría en el análisis *post hoc*. Los autores agradecen las observaciones y sugerencias de los revisores y del editor asociado.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Referencias

- Álvarez-Lopezello, J., Rivas-Manzano, I. V., Aguilera-Gómez, L. I., & González-Ledesma, M. (2016). Diversidad y estructura de un pastizal en El Cerrillo, Piedras Blancas, Estado de México, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 980-989. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.006>
- Andrew, M. H., Noble, I. R., & Lange, R. T. (1979). A non-destructive method for estimating the weight of forage on shrubs. *The Australian Rangeland Journal*, 1(3), 225-231. doi: <https://doi.org/10.1071/RJ9790225>
- Andrew, M. H., Noble, I. R., Lange, R. T., & Johnson, A. W. (1981). The measurement of shrub forage weight: three methods compared. *The Australian Rangeland Journal*, 3(1), 74-82. doi: <https://doi.org/10.1071/RJ9810074>
- Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L., & Loa, E. (coords.) (2000). *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/terrestres.html>
- Blair, J., Nippert, J., & Briggs, J. (2014). Grassland ecology. En R. K. Monson (ed.), *Ecology and the environment* (pp. 389-423). Springer Science. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7501-9_14
- Ceballos, G., Pacheco, J., & List, R. (1999). Influence of prairie dogs (*Cynomys ludovicianus*) on habitat heterogeneity and mammalian diversity in Mexico. *Journal of Arid Environments*, 41(2), 161-172. doi: <https://doi.org/10.1006/jare.1998.0479>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2020). [Información estadística climatológica]. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (2008). *Regiones Terrestres Prioritarias de México: Tokio*. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rtp_080.pdf
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio)-Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología del Gobierno del Estado de Chihuahua (Sedue). (2015). *Estrategia para la conservación y el uso sustentable de la Biodiversidad del Estado de Chihuahua*. Conabio. <https://www.cbd.int/doc/nbsap/sbsap/mx-sbsap-chihuahua-es.pdf>
- Consorcio Forestal del Norte de México. (2011). *Estudio regional forestal, unidad de manejo forestal UMAFOR 1901*. Comisión Nacional Forestal. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/3176ERF%201901.pdf>
- Contreras-Balderas, A. J., González-Rojas, J. I., García-Salas, J. A., & Ruvalcaba-Ortega, I. (2008). Nuevo León. En R. Ortiz-Pulido, A. Navarro-Sigüenza, H. Gómez de Silva, O. Rojas-Soto, & A. T. Peterson (eds.), *Avifaunas Estatales de México* (pp. 165-198). CIPAMEX A. C. https://cipamexdotorg.files.wordpress.com/2020/04/2008_avifaunas-estatales-nuevo-lec3b3n.pdf

- Diario Oficial de la Federación (DOF). (30 de diciembre de 2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>
- Duniway, M. C., Herrick, J. E., Pyke, D. A., & Toledo, D. (2010). Assessing transportation infrastructure impacts on rangelands: test of a Standard Rangeland Assessment Protocol. *Rangeland Ecology and Management*, 63(5), 524-536. doi: <https://doi.org/10.2111/REM-D-09-00176.1>
- Echavarría-Cháirez, F. G., & Rubio-Aguirre, F. A. (2020). Deterioro de los pastizales por agricultura y ganadería. En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (ed.), *La biodiversidad en Zacatecas. Estudio de Estado* (pp. 407-411). Conabio. https://www.researchgate.net/profile/Aldo-Ortega/publication/339213102_La_Biodiversidad_en_Zacatecas_estudio_de_estado/links/5e445a6492851c7f7f34064f/La-Biodiversidad-en-Zacatecas-estudio-de-estado.pdf
- Echavarría-Cháirez, F. G., Santos, J. L., Gutiérrez, R., & Medina, G. (2015). Validación de una estrategia metodológica para la evaluación cualitativa de un pastizal medio abierto del estado de Zacatecas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 6(2), 171-191. doi: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v6i2.4061>
- Estrada, E., Scott, L., Villarreal, J. A., Jurado, E., Cotera, M., Cantú, C., & García, J. (2010). Clasificación de los pastizales halófilos del noreste de México asociados con perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*): diversidad y endemismo de especies. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81(2), 401-416. doi: <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2010.002.231>
- Giraudoux, P. (2022). *pgirmess: spatial analysis and data mining for field ecologists. R package* (version 2.0.0) [Software de Computación]. <https://CRAN.R-project.org/package=pgirmess>
- González, D. U. (2011). Contribución al modelo de nicho ecológico de perrito llanero mexicano y su relación con la disminución de su rango geográfico así como la evaluación de su riesgo de extinción (Tesis de Doctorado). Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1080224306.PDF>
- González, F. (2002). Perrito de la pradera mexicana *Cynomys mexicanus* en el Noreste de México. Desarrollo de un modelo para la evaluación de su hábitat. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).
- González, M., Foroughbakhch, R., Rocha, L., Guzmán, M. A., & González, H. (2017). Composición florística y caracterización estructural del matorral desértico micrófilo en Galeana, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(39), 83-98. doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i39.45>
- Guadarrama, E., Cruz, M., Medellín, S., Morales, M., Alvarez, R., Rovalo, M., & Villalón, H. (2003a). *Programa de manejo de la Zona Sujeta a Conservación Ecológica Llano La Soledad, Galeana, Nuevo León*. Pronatura Noreste A. C. & Gobierno del Estado de Nuevo León.
- Guadarrama, E., Cruz, M., Medellín, S., Morales, M., Alvarez, R., Rovalo, M., & Villalón, H. (2003b). *Programa de manejo de la Zona Sujeta a Conservación Ecológica La Trinidad, Galeana, Nuevo León*. Pronatura Noreste A. C. & Gobierno del Estado de Nuevo León.
- Guadarrama, E., Cruz, M., Medellín, S., Morales, M., Alvarez, R., Rovalo, M., & Villalón, H. (2003c). *Programa de manejo de la Zona Sujeta a Conservación Ecológica La Hediondilla, Galeana, Nuevo León*. Pronatura Noreste A. C. & Gobierno del Estado de Nuevo León.
- Guzmán-Aranda, J. C., Hoth, J., & Blanco, E. (2011). Plan de acción para la conservación y uso sustentable de los pastizales del Desierto Chihuahuense en el Estado de Chihuahua 2011-2016. Gobierno del Estado de Chihuahua. <https://birdconservancy.org/wp-content/uploads/2014/06/Grasslands-Chihuahua-2011-FINALweb2may.pdf>
- Guzmán-Aranda, J. C., Hoth, J., & Berlanga, H. (eds.) (2012). *Plan Maestro de la Alianza Regional para la Conservación de los Pastizales del Desierto Chihuahuense 2011-2016*. Comisión para la Cooperación Ambiental. https://birdconservancy.org/wp-content/uploads/2016/10/Master_Plan_Chihuahua_jan2012.pdf
- Hernández, M. A. (2010). *Composición, estructura y cambio de uso de suelo en el zacatal gipsófilo de La Trinidad, Galeana, Nuevo León, México* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3924/K%2061532%20Hernandez%20G%c3%b3mez%2c%20Miguel%20%2c%381ngel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Hernández-Gómez, M. A., Pando-Moreno, M., Mata-González, R., & Jiménez-Pérez, J. (2013). Captura de carbono en ecosistemas de pastizales semiáridos del Altiplano del norte de México. En F. Paz, J. Wong, M. Bazan, & V. Saynes (eds.), *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013* (pp. 82-89). Programa Mexicano del Carbono, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo & Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/67297/seleccion%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hopson, R., Meiman, P., & Shannon, G. (2015). Rangeland dynamics: investigating vegetation composition and structure of urban and exurban prairie dog habitat. *PeerJ*, 3, e736. doi: <https://doi.org/10.7717/peerj.736>
- Medellín, L. R., & Bárcenas, H. V. (2021). Informe final del Proyecto QE005. Evaluación del estado de conservación y amenazas de *Cynomys mexicanus* en el marco del examen de revisión periódica de especies listadas en los Apéndices de la CITES. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfQE005.pdf>
- Medrano, M. (2010). Efecto de la fragmentación del hábitat sobre el perrito llanero *Cynomys mexicanus* en Galeana, Nuevo León, México (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Mellado, M., Olvera, A., Quero, A., & Mendoza, G. (2005). Diets of prairie dogs, goats, and sheep on Desert Rangeland. *Rangeland Ecology and Management*, 58(4), 373-379. doi: [https://doi.org/10.2111/1551-5028\(2005\)058\[0373:DOPDGA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2111/1551-5028(2005)058[0373:DOPDGA]2.0.CO;2)
- Menegaz, P., & Arellano, L. (2016). La importancia de los suelos en los sistemas ganaderos. En C. C. Huerta & R. M. Cruz (eds.), *Hacia una ganadería sustentable y amigable con la biodiversidad. Estudio de caso: Xico, Veracruz* (pp. 55-78). Instituto de Ecología, A. C. http://www1.inecol.edu.mx/cv/CV_pdf/libros/LibroGanaderiaXico_2016.pdf
- Ochoa, J. J. (2006). *Dinámica de la salud del pastizal en colonias de perrito de la pradera (Cynomys ludovicianus) en Janos, Chihuahua* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Chihuahua. https://www.researchgate.net/publication/335227371_Dinamica_de_la_salud_del_pastizal_en_colonias_de_perrito_de_la_pradera_Cynomys_ludovicianus_en_Janos_Chihuahua
- Panjabi, A., Youngberg, E., & Levandoski, G. (2010). *Wintering grassland bird densities in Chihuahuan Desert Grassland Priority Conservation Areas, 2007-2010*. Rocky Mountain Bird Observatory. https://www.birdconservancy.org/wp-content/uploads/2014/06/Chihuahuan_Desert_Wintering_Grassland_Bird_Tech_Report_2010_FINAL.pdf
- Pellant, M., Shaver, P., Pyke, D. A., & Herrick, J. E. (2000). *Interpreting indicators of rangeland health, Version 3*. U. S. Department of the Interior & U. S. Department of Agriculture. <https://jornada.nmsu.edu/files/bibliography/00-021.pdf>
- Pellant, M., Shaver, P., Pyke, D. A., & Herrick, J. E. (2005). *Interpreting indicators of rangeland health, Version 4*. Department of the Interior. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1043944.pdf
- Pineda, F. E. (2018). *El perrito de las praderas (Cynomys mexicanus) en Coahuila, México* (Tesis de Maestría). Colegio de Postgraduados. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/3126/1/Pineda_Perez_FE_MC_IMRN_2018.pdf
- Printz, J. L., Toledo, D., & Boltz, S. C. (2014). Rangeland health assessment: The key to understanding and assessing rangeland soil health in the Northern Great Plains. *Journal of Soil and Water Conservation*, 69(3), 73-77. doi: <https://doi.org/10.2489/jswc.69.3.73A>
- R Core Team. (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria [Software de Computación]. <https://www.R-project.org/>
- Ríos-Muñoz, C. A., Espinosa-Martínez, D. V., Ballesteros-Barrera, C., Amenyro-Cruz, G., López-Ortega, G., Arroyo-Cabrales, J., & León-Paniagua, L. (2017). Mamíferos de Zacatecas. *Revista Mexicana de Mastozoología (Nueva Época)*, 7(1), 1-24. doi: <https://doi.org/10.22201/ie.20074484e.2017.1.1.238>
- Royo, M., Sierra, J., Morales, C., Carrillo, R., Melgoza, A., & Jurado, P. (2008). Estudios ecológicos de pastizales. En A. Chávez (ed.), *Rancho Experimental La Campana, 50 años de investigación y transferencia de tecnología en pastizales y producción animal. Libro técnico No. 2* (pp. 23-70). SAGARPA-INIFAP.

- Sánchez, S., Flores, A., Cruz-Leyva, A., & Velázquez, A. (2009). Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. En J. Sarukhán (ed.), *Capital natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio* (pp. 75-129). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/7404.pdf>
- Sathaye, J., & Meyers, S. (1995). Rangelands and grasslands. En J. Sathaye, & S. Meyers (eds.), *Greenhouse gas mitigation assessment: a guidebook. Vol. 6* (pp. 211-226). Environmental Science and Technology. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-015-8466-1_13
- Scott-Morales, L., Cotera-Correa, M., & Estrada-Castillón, E. (2006). *Estado de Conservación del perro llanero mexicano (Cynomys mexicanus) en el Altiplano Mexicano*. Fondo Sectorial de Investigación & CONACyT-SEMARNAT.
- Scott-Morales, L., Estrada, E., Chávez-Ramírez, F., & Cotera, M. (2004). Continued decline in Geographic distribution of the Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*). *Journal of Mammalogy*, 85(6), 1095-1101. doi: <https://doi.org/10.1644/BER-107.1>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). (2004). Proyecto de protección, conservación y recuperación del Perrito Llanero (*Cynomys mexicanus*) Serie: proyectos de Recuperación de Especies Prioritarias, No. 13. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). (2016). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde, Edición 2015. Semarnat. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
- Secretaría General del Gobierno. (14 de enero de 2002). *Periódico Oficial, Gobierno Constitucional del Estado Libre y Soberano de Nuevo León*. Tomo CXXXIX, Núm. 7, Monterrey, NL. https://www.nl.gob.mx/sites/default/files/d_perrito.pdf
- Senra, A. (2009). Impacto del manejo del ecosistema del pastizal en la fertilidad natural y sostenibilidad del suelo. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 13(2), 3-15. <http://www.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2009/mayo/1.pdf>
- Souther, S., Loeser, M., Crews, T. E., & Sisk, T. (2019). Complex response of vegetation to grazing suggests need for coordinated, landscape-level approaches to grazing management. *Global Ecology and Conservation*, 20(2019), 1-17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00770>
- StatSoft, Inc. (2004). *STATISTICA (data analysis software system) (version 7)* [Software de Computación]. <https://www.statistica.com/en/>
- Torres, C. A., Gutiérrez, M. C., Ortiz, C. A., & Gutiérrez, E. V. (2016). Manejo agronómico de los Vertisoles en México: una revisión. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 457-466. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000400457
- Xu, D., & Guo, X. (2015). Some insights on grassland health assessment based on remote sensing. *Sensors*, 15(2), 3070-3089. doi: <https://doi.org/10.3390/s150203070>
- Yen, M. (2006). Cambios en cobertura y composición florística del pastizal halófilo en el estado de Nuevo León (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Zar, J. H. (2010). *Biostatistical analysis* (5ª ed.). Prentice Hall, Inc.
- Zaragoza-Quintana, E. P. (2011). Cambio de uso de suelo y salud del ecosistema en las Áreas Naturales Protegidas para el perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus* MERRIAM) (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/2957/1/1080221567.pdf>
- Zaragoza-Quintana, E. P., Cotera-Correa, M., Scott-Morales, L. M., & Pando-Moreno, M. (2012). Uso histórico del pastizal en las áreas naturales protegidas para el perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*) en Nuevo León, México. En F. Cervantes & C. Ballesteros-Barrera (eds.), *Estudio sobre la Biología de Roedores Silvestres Mexicanos* (pp. 105-115). Universidad Nacional Autónoma de México & Universidad Autónoma Metropolitana.
- http://www.mastozoologiamexicana.com/books/Estudio_sobre_biologia_roedores_mexicanos.pdf