

Biomás antropogénicos asociados al hábitat del perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*)

Anthropogenic biomes associated with the habitat of Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*)

Dino Ulises González Uribe^{1*}, Mario Alberto García Aranda²

¹Departamento de Estadística y Cálculo, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, CP. 25315, Tel. 844 4110200. digon_mx@yahoo.com

²Especies, Sociedad y Hábitat A.C.

*Autor de correspondencia

Resumen

Las actividades humanas como la agricultura y el pastoreo generan biomas antropogénicos que se traslapan con especies de importancia para la conservación. *Cynomys mexicanus* es una especie endémica al norte de México, con acelerada pérdida de hábitat. El objetivo de este estudio fue cuantificar el traslape entre los biomas antropogénicos y las colonias activas y potenciales de *C. mexicanus*. Para obtener las superficies potenciales de colonias se incluyeron intervalos de edad de: 10-20, 21-30, >30 años de agricultura y pastoreo, y su combinación. Se estimaron 57 colonias activas en campo cubriendo 23 120 ha y 375 colonias potenciales en 49 273 ha. El bioma antropogénico agostaderos poblados cubrió el 65% en las colonias potenciales y 65% en las activas. La combinación de agricultura y pastoreo presentes en las colonias activas con más de 30 años y distancias cercanas a caminos (0.0 km-0.1 km) produjeron una pérdida de hábitat estimada en 2.69 ha/día.

Palabras clave: Anthroma; actividades humanas; distribución geográfica; geoprocésamiento; modelo digital de elevación.

Abstract

Human activities such as agriculture and grazing generate anthropogenic biomes that overlap with species of conservation importance. *Cynomys mexicanus* is an endemic species to northern Mexico, with accelerated habitat loss. The objective of this study was to quantify the overlap between anthropogenic biomes and active and potential colonies of *C. mexicanus*. To obtain potential colony surfaces, age intervals of 10-20, 21-30, >30 years of agriculture and grazing -and their combination- were included. 57 active colonies in the field covering 23 120 ha and 375 potential colonies in 49 273 ha were estimated. The anthropogenic populated rangelands biome covered 65% in the potential colonies and 65% in the active colonies. The combination of agriculture and grazing present in active colonies more than 30 years old and with close distances to roads (0.0 km-0.1 km) produced an estimated habitat loss of 2.69 ha/day.

Keywords: Anthrome; human activities; geographical distribution; geoprocessing; digital elevation model.

Recibido: 14 de febrero de 2024

Aceptado: 24 de octubre de 2024

Publicado: 18 de diciembre de 2024

Cómo citar: González Uribe, D. U., & García Aranda, M. A. (2024). Biomás antropogénicos asociados al hábitat del perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*). *Acta Universitaria* 34, e4124. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2024.4124>

Introducción

Las actividades humanas ejercidas en los ecosistemas naturales provocaron modificaciones profundas en sus funciones por acción directa y sostenida en el tiempo, siendo las más comunes los cambios de uso de suelo para asentamientos humanos, la agricultura y el pastoreo (Mohamed *et al.*, 2024). Dichas alteraciones se manifestaron a nivel global, dando paso a los biomas antropogénicos o antropomas que resultaron de las acciones de los humanos en interacción con los ecosistemas (Ellis & Ramankutty, 2008b; Ellis *et al.*, 2010). Esta definición caracteriza los cambios ejercidos por los humanos y sus actividades en los ecosistemas que se han manifestado a nivel global a través de gradientes de intensidad de uso del suelo por densidad de población humana (Quinn & Ellis, 2023; Riggio *et al.*, 2020).

Se estima que las actividades humanas entre 1990 y 2015 provocaron la pérdida de 1.6 millones de km² de terrenos naturales a nivel mundial, lo que representó un 15.2% de la superficie total (sin considerar la Antártida). Esto equivale a, aproximadamente, 0.6% por año, 178 km²/día o 12 ha/min (Theobald *et al.*, 2020). Las actividades humanas más intensas son la agricultura de temporal y de riego y pastoreo (Klein *et al.*, 2017; Theobald *et al.*, 2020).

Para el área urbanizada, se estima que en los últimos 10 000 años cambió de cero a 58 millones de hectáreas en 2015, menos del 0.5% de la superficie total del planeta (Klein *et al.*, 2017). Las áreas de cultivo agrícola ocupadas fueron menos del 1% del total de la superficie del planeta (13 037 millones de hectáreas), sin incluir la Antártida (Klein *et al.*, 2017). Durante cientos de años y hasta el 2015, las áreas de cultivo y pastoreo crecieron lentamente, representando una de las alteraciones comunes y frecuentes de las actividades humanas a nivel mundial, regional y local (Ellis & Ramankutty, 2008b; Ellis *et al.*, 2010; Klein *et al.*, 2017).

En México, las áreas alteradas por agricultura y pastoreo se han desarrollado en detrimento del hábitat de especies silvestres de importancia ecológica, por ejemplo, el perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*). Su comportamiento social le permite formar agregados de familias llamadas colonias activas (González *et al.*, 2012; Yeaton & Flores, 2006). Esta especie se encuentra en la categoría en peligro de extinción, declarada así por la Norma Oficial Mexicana 059 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2010). La acción excavadora de *C. mexicanus* facilita la disponibilidad de recursos para otras especies de vertebrados e invertebrados (Hale *et al.*, 2020). Remueve el suelo desde el interior de sus madrigueras, aumentando las tasas de descomposición y dando paso a la estabilidad de los suelos donde habita, los cuales son utilizados para el pastoreo (Hale *et al.*, 2020; Pando *et al.*, 2013).

Debido a la situación de riesgo de extinción, delimitar y medir la superficie de las colonias de *C. mexicanus* permitirá hacer un seguimiento cuantitativo de aspectos ecológicos de la especie (Hale *et al.*, 2020; Hoogland, 2006). La superficie total de colonias activas en el país se ha estimado en 231.20 km²: 50.7% en el estado de Coahuila, 47.0% en Nuevo León y 2.3% en San Luis Potosí (González *et al.*, 2024). En el estado de Zacatecas hay poblaciones trasladadas de la especie que ocupan un área de 45.15 ha (González *et al.*, 2023). Se ha encontrado que las colonias están en sitios con inclinaciones menores a 3.7% y en intervalos de elevación entre 1690 m y 2200 m (González-Saldívar, 2002; Treviño-Villarreal & Grant, 1998), variables que pueden ser útiles para identificar sitios con colonias potenciales.

Una metodología utilizada para estimar la superficie de las colonias activas de *C. mexicanus* ha sido a través de recorridos a pie, apoyados con herramientas de sistemas de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) y cartas topográficas (1:50 000 y 1:250 000) (Ahmad *et al.*, 2018; Ceballos *et al.*, 1993; González *et al.*, 2024; Treviño-Villarreal & Grant, 1998). Las metodologías geoespaciales digitales (González *et al.*, 2024; Kerr & Ostrovsky, 2003; Kushwaha & Roy, 2002) asociadas a imágenes satelitales, apoyadas de sistemas de información geográfica, programas de cómputo especializado como Qgis® (Menke, 2016) y modelos digitales de elevación, hacen posible estimar la inclinación de grandes superficies -al igual que la elevación- y permiten acciones conocidas como geoprocetamiento de unión e intersección de resultados. Estos materiales y los procedimientos mencionados encaminados a estimar superficies de colonias potenciales de *C. mexicanus* son conocidos como detección (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2013; Menke, 2016) y pueden apoyar el monitoreo de colonias activas, así como identificar las cercanías o proximidades a actividades humanas que representan un riesgo para la especie (Ahmad *et al.*, 2018; Lillesand, 2015; Sidle *et al.*, 2001), tales como áreas agrícolas y ganaderas o caminos de terracería y asfalto (Estrada-Castillón *et al.*, 2010; Treviño-Villarreal & Grant, 1998).

Los escasos estudios indican que la disminución de colonias activas se debe principalmente a las actividades relacionadas con la agricultura y el pastoreo (Estrada-Castillón *et al.*, 2010; González *et al.*, 2012, 2024; Treviño-Villarreal & Grant, 1998). Por lo anterior, conocer los patrones y tendencias del uso de la tierra son de importancia para la conservación de *C. mexicanus* (Semarnat, 2010; Theobald *et al.*, 2020).

Los objetivos de esta investigación fueron detectar colonias potenciales de la especie con variables abióticas: inclinación del terreno (<3.7%) y elevación (1 690-2 200 m), obtenidas a partir de un modelo digital de elevación, y compararlas con la superficie conocida de colonias activas, además de calcular el traslape y cercanía con actividades humanas de agricultura y pastoreo y caminos en los biomas antropogénicos por estado, esto con el fin de estimar la superficie del hábitat perdido.

Materiales y métodos

Área de estudio

Las colonias activas de *C. mexicanus* están distribuidas en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas (25° 43' 48" -23° 49' 12" N y 102° 29' 24" -99° 45' 18" O) en valles intermontanos donde se realizan agricultura y pastoreo (Figura 1). El área forma parte del Desierto Chihuahuense (Conabio, 2022), y el clima es del subtipo seco árido (Conabio, 2008; Estrada-Castillón *et al.*, 2010). La vegetación dominante es pastizal, con una altura promedio menor a los 60 cm en las áreas de pastizal, rodeado de matorral xerófilo y micrófilo, y en las bases de los valles inicia el izotal y bosques de pino (Estrada-Castillón *et al.*, 2010). El tipo de suelo que predomina en las áreas de las colonias activas son los solonchack, xerosol, phaeozem y vertisol, en algunos casos con una fase petrocálcica (Estrada-Castillón *et al.*, 2010; González *et al.*, 2024).

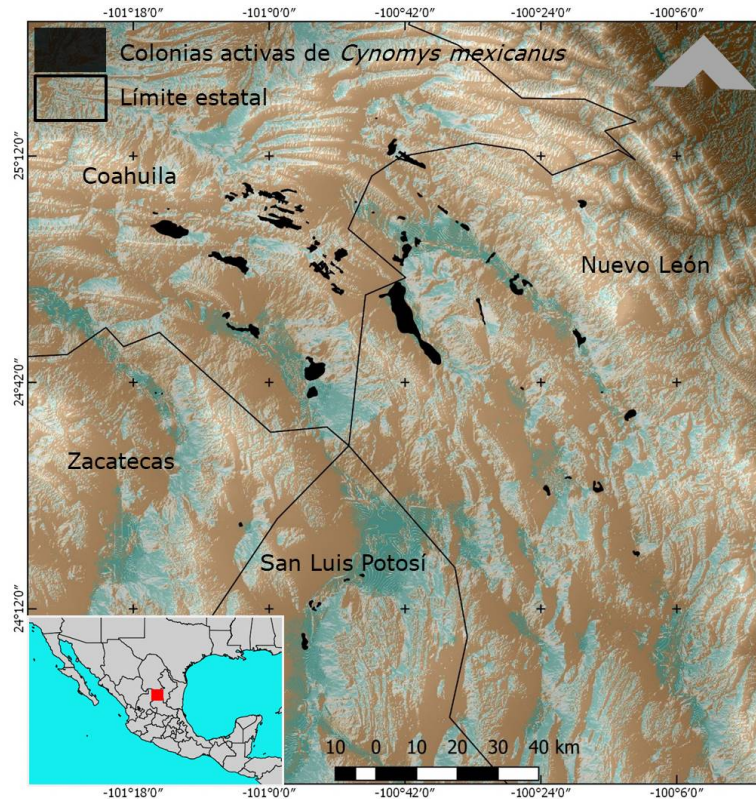


Figura 1. Área de estudio.

Fuente: Elaboración propia con modelo digital de elevación (INEGI, 2013).

Colecta de datos

Se utilizó un dispositivo de posicionamiento global para obtener el área de las colonias activas. La información se proyectó en Universal Transverse Mercator (UTM) con el Datum World Geodetic System (WGS84, por sus siglas en inglés). Los programas de cómputo utilizados fueron Qgis® y Google Earth Pro®. Para cada estado se obtuvo el bioma antropogénico utilizando la base de datos mundial de Ellis & Ramankutty (2008a) y Ellis *et al.* (2010). La información geográfica de interés se obtuvo proyectándola en Qgis® y haciendo un corte dentro de las coordenadas que limitaron el área de estudio (Tabla 1).

Tabla 1. Biomás antropogénicos en el área de estudio.

Estado	ID	Bioma antropogénico	ha
Coahuila	32	Mosaico de temporal y residencial	51 488
	34	Tierras de cultivo de temporal pobladas	150 480
	41	Agostaderos residenciales	240 935
	42	Agostaderos poblados	1 122 679
	43	Agostaderos remotos	72 139
Nuevo León	32	Mosaico de temporal y residencial	223 956
	34	Tierras de cultivo de temporal pobladas	469 114
	41	Agostaderos residenciales	333 885
	42	Agostaderos poblados	1 565 754
	43	Agostaderos remotos	54 586
	51	Bosques poblados	414 189
San Luis Potosí	34	Tierras de cultivo de temporal pobladas	51 633
	42	Agostaderos poblados	370 990
Zacatecas	42	Agostaderos poblados	738 514

ID = Identificador según Ellis & Ramankutty (2008b) y Ellis *et al.* (2010).

Fuente: Elaboración propia.

Delimitación de áreas de agricultura y pastoreo en el área de estudio

Para la obtención de información de agricultura y pastoreo, se utilizaron dos fuentes de información, la primera fue Google Earth Pro®, con la que se delimitaron áreas de cultivo visibles en las vecindades y traslapes con las colonias activas de *C. mexicanus* (González *et al.*, 2012, 2024; Treviño-Villarreal & Grant, 1998). Las áreas de cultivo se caracterizaron por tener formas definidas (cuadros, rectángulos y círculos). La segunda fuente provino de Estrada-Castillón *et al.* (2010), quienes elaboraron una base de datos espacial con intervalos de tiempo: 2004-2014 (10-20 años), 1994-2003 (21-30 años), <1994 (>30 años) de pastoreo, y la combinación de agricultura-pastoreo. Cada colonia activa fue clasificada en el intervalo de tiempo respectivo (González *et al.*, 2024). Como la totalidad de las áreas de agricultura mostró el pastoreo en los intervalos de tiempo anteriores, se puso atención en la combinación de agricultura-pastoreo y en forma independiente en pastoreo en las colonias activas (Estrada-Castillón *et al.*, 2010). Con el programa Qgis® y aplicando el Datum WGS84, se hizo la cuantificación de las superficies totales (Myers *et al.*, 2012).

Detección de colonias potenciales de *Cynomys mexicanus*

Se obtuvo un modelo digital de elevación del área de estudio (INEGI, 2013; Menke, 2016), y por geoprocésamiento se detectaron áreas con colonias potenciales de *C. mexicanus*, de acuerdo con las variables abióticas: inclinación del terreno <3.7% y las áreas que estuvieron entre los 1690 m y 2200 m de elevación (Treviño-Villarreal & Grant, 1998; González-Saldívar, 2002). Al primer conjunto derivado del geoprocésamiento se le llamó *A* = superficie resultante para inclinación (km²), al segundo se le denominó *B* = superficie resultante para elevación (km²) y el tercero fue *C* = superficie resultante para tipo de bioma antropogénico (km²). Lo anterior, y de acuerdo con la teoría de conjuntos, se representó con un diagrama de Venn dentro del espacio muestral *S* o polígono del área de estudio (Myers *et al.*, 2012). El conjunto independiente de resultados de superficies *A*, *B* y *C* se intersecaron para obtener el área común dada por $D = A \cap B \cap C$, donde \cap = intersección (Myers *et al.*, 2012). En un proceso intermedio se obtuvo un archivo en formato shape (SHP) de *A*, *B* y *C* para estimar las áreas individuales de cada conjunto de evento posible, con el fin de facilitar su manejo para traslape geoespacial e intercambio a la extensión Keyhole Markup Language (KML). Esto ayudó a tener una perspectiva de colindancias en el terreno de la superficie de la intersección *D* en km².

Matriz de distancias de colonias activas de *Cynomys mexicanus*

Con el uso de Qgis® se obtuvo una matriz de distancias lineales entre las colonias activas estudiadas y las actividades humanas por agricultura-pastoreo y pastoreo, así como a los caminos principales de terracería y asfalto (Estrada-Castillón *et al.*, 2010; González *et al.*, 2024). Con este procedimiento se obtuvo una medida de magnitud del riesgo de la proximidad de las colonias activas debido a las vecindades con agricultura-pastoreo, pastoreo y caminos; entre más cortas son las distancias, el riesgo se considera mayor.

Análisis estadístico

Los resultados del geoprocesamiento del modelo digital de elevación proporcionaron un archivo con información de superficies de colonias potenciales de *C. mexicanus*, a los cuales se les aplicó un análisis de exploración de datos por estado (Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas) en sus correspondientes biomas antropogénicos. El análisis consistió en la obtención de las superficies (km²), conteo de colonias potenciales y colonias activas por actividades humanas por agricultura-pastoreo y pastoreo en los intervalos de tiempo: 2004-2014, 1994-2003, <1994. La misma estimación se hizo para las distancias lineales mínimas y máximas de las colonias activas a actividades humanas por agricultura-pastoreo, pastoreo y caminos (Myers *et al.*, 2012; Zar, 1999).

Resultados

Delimitación de áreas de agricultura y pastoreo en el área de estudio

Las actividades humanas en forma de agricultura y pastoreo resultantes y relacionadas a intervalos de tiempo para agricultura-pastoreo y pastoreo de 2004-2014, 1994-2003, <1994, fueron contabilizados en grupos estatales (Tabla 2). El mayor número lo obtuvo Coahuila, seguido de Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas, siendo evidente en todos los casos las actividades humanas de agricultura-pastoreo y pastoreo, en el intervalo <1994.

Tabla 2. Número de colonias activas de *Cynomys mexicanus* con actividades humanas por agricultura y pastoreo.

Estado	Intervalo (años)	Agricultura- Pastoreo	Pastoreo	Total
Coahuila	2004-2014	0	0	
	1994-2003	9	0	
	<1994	11	6	26
Nuevo León	2004-2014	1	0	
	1994-2003	0	0	
	<1994	21	3	25
San Luis Potosí	2004-2014	0	0	
	1994-2003	0	0	
	<1994	0	6	6
Zacatecas	2004-2014	0	0	
	1994-2003	0	0	
	<1994	0	3	3
<i>Total</i>		42	18	60

Fuente: Elaboración propia.

Detección de colonias de *Cynomys mexicanus*

La superficie de biomás antropogénicos en el área de estudio fue de 5 860 342 ha, su distribución se muestra en la Tabla 1. El bioma antropogénico agostaderos poblados fue el de mayor superficie y el que se traslapó con colonias potenciales y colonias activas de *C. mexicanus*, distribuido de la siguiente forma: 68.6% en Coahuila, 51.1% en Nuevo León, 87.8% en San Luis Potosí y el 100% en Zacatecas (Tabla 3, Figura 2). El bioma antropogénico mosaico de temporal y residencial fue el de menor superficie, con 3.1% en Coahuila, agostaderos remotos con 1.8% en Nuevo León, y tierras de cultivo de temporal pobladas con 12.2% en San Luis Potosí (Tabla 1, Figura 2).

Tabla 3. Superficies de colonias potenciales y activas en *Cynomys mexicanus*.

Estado	Superficie colonias potenciales (ha)	Superficie colonias activas (ha)	No. colonias potenciales	No. colonias activas
Coahuila	18 919.81	11 730.67	114	26
Nuevo León	15 535.40	10 856.44	187	25
San Luis Potosí	6 234.80	533.15	24	6
Zacatecas	8 583.14	43.60	50	3
Total	49 273.16	23 120.26	375	60

Fuente: Elaboración propia.

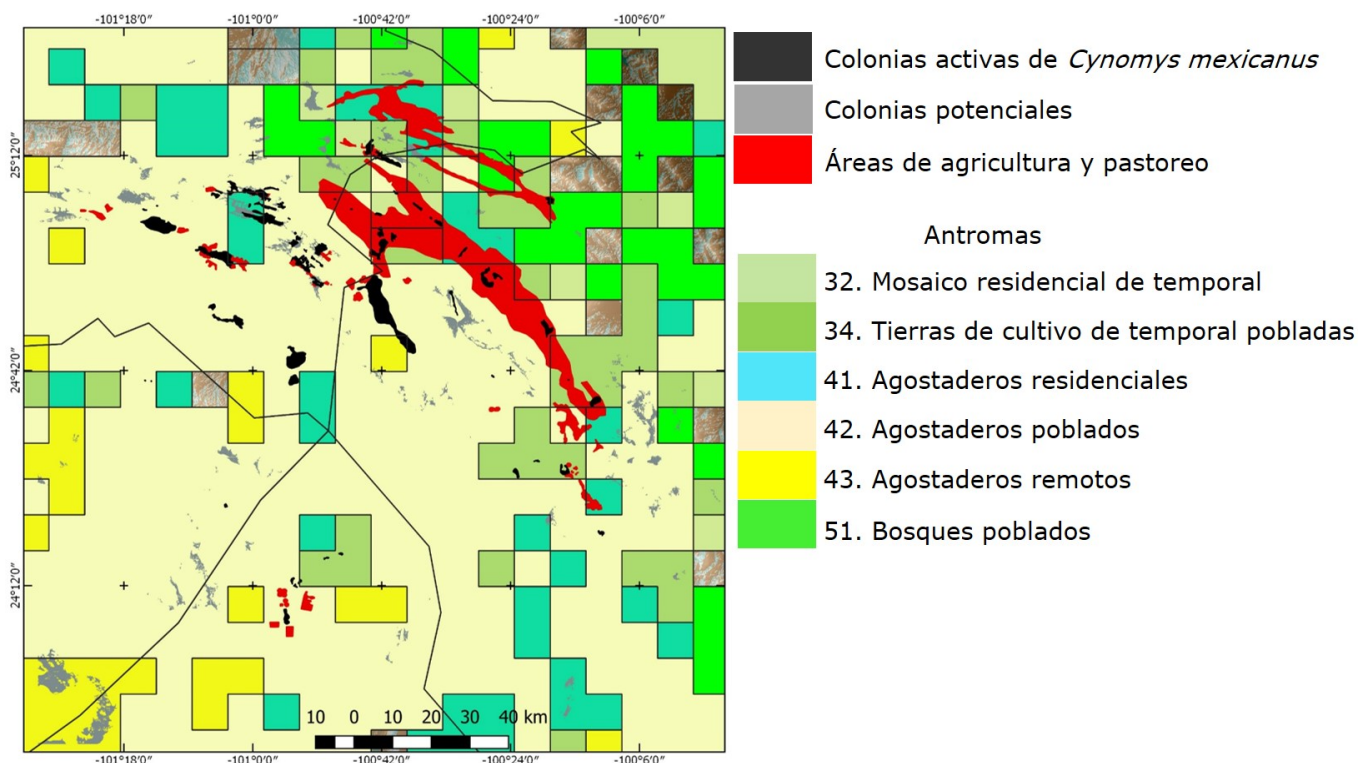


Figura 2. Superficie de colonias potenciales y activas para *C. mexicanus*, mostrando los biomás antropogénicos en el área de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Matriz de distancias de colonias activas de *Cynomys mexicanus*

El análisis de distancias entre colonias activas de *C. mexicanus* proporcionó valores mínimos y máximos por estado, mostrando la variación entre cada uno (Tabla 4). En forma global, el intervalo de distancia entre colonias activas y actividades humanas por agricultura-pastoreo y pastoreo fue de 1.16 km a 135.89 km. Los valores más altos se observaron en Nuevo León (135.89 km), seguido de Coahuila (68.88 km), Zacatecas (36.90 km) y San Luis Potosí (21.41 km). En el caso de las distancias para caminos principales de terracería y asfalto fue de 0.0 km a 0.1 km (Tabla 4).

Tabla 4. Distancias de colonias activas de *Cynomys mexicanus* a actividades humanas de agricultura-pastoreo y pastoreo, a caminos.

Estado	Mínimo (km)	Máximo (km)	Agricultura-Pastoreo y Pastoreo (km)	A caminos (km)
Coahuila	1.16	68.88	0.01	0.0
Nuevo León	2.37	135.89	0.01	0.0
San Luis Potosí	1.47	21.41	0.20	0.1
Zacatecas	1.25	36.90	0.50	2.42

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Delimitación de áreas de agricultura y pastoreo en el área de estudio

Los resultados de la presente investigación fueron similares a los reportados hace 25 años (Estrada-Castillón *et al.*, 2010; González *et al.*, 2012; Treviño-Villarreal & Grant, 1998). A través del tiempo se acumularon efectos que provocaron impactos directos en el hábitat de *C. mexicanus*, como los programas de erradicación vía control químico, el uso de riego por pivote central y el uso de pesticidas sistémicos en la producción agrícola (Cano-García *et al.*, 2023). A ello se suma la dinámica de abandono de tierras, la introducción de especies invasoras y la formación de asociaciones vegetales en terrenos con microambientes destruidos que perdieron sus características silvestres (Estrada-Castillón *et al.*, 2010; González *et al.*, 2024). Todo ello redujo y fragmentó el hábitat conocido de *C. mexicanus* por más de 90 años (Arasa-Gisbert *et al.*, 2021; Estrada-Castillón *et al.*, 2010; García-Elizondo & López, 1997; Garrett & Franklin, 1988; Zaragoza-Quintana *et al.*, 2022). Además, se han estimado altas concentraciones de los plaguicidas glifosato (2.50 mg/g-12.7 mg/g) y metamidofos (2.9 mg/g-14.7 mg/g) en excretas de los animales en colonias activas de Coahuila y Nuevo León. Esos rangos de valores rebasaron los límites permitidos de la normatividad, produciendo intoxicación en *C. mexicanus*, pudiendo intervenir en los procesos reproductivos y en la disminución de las poblaciones (Cano-García *et al.*, 2023).

Derivado de lo anterior, se observaron dos casos en campo, el primero, la pérdida de periferias en las colonias activas y, en consecuencia, las nulas posibilidades de migración natural para la especie (Garrett & Franklin, 1988; González *et al.*, 2024), lo cual coincidió con efectos similares de fragmentación generales en otros ecosistemas (Arasa-Gisbert *et al.*, 2021) producidos por el abandono de tierras de cultivo. El segundo caso fue que las superficies de colonias activas en Coahuila y Nuevo León se traslaparon con actividades humanas de agricultura dedicadas al cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.), entre otros, aumentando las amenazas para la especie por conflicto con los productores. Además, dichas colonias activas tuvieron proximidades cortas a la carretera federal 54, lo que ha provocado acumulación de pesticidas y fragmentación del hábitat por actividades humanas. Para San Luis Potosí, la agricultura y pastoreo se ha ejercido en el intervalo de tiempo más largo. Sus colindancias hacia el oeste con Zacatecas mostraron la reintroducción de la especie en tres traslocaciones; ninguna de ellas estuvo a la distancia de dispersión máxima de 5000 m (Garrett & Franklin, 1988; González *et al.*, 2024).

DetECCIÓN DE COLONIAS DE *Cynomys mexicanus*

El área de colonias potenciales estimadas en este trabajo (49 273 ha) fue 3.3%, mayor que el área ocupada por colonias activas hace 25 años (Treviño-Villarreal & Grant, 1998). La diferencia de 1603 ha puede ser atribuida a los métodos aplicados. En ese estudio se interrogaron a residentes locales, y con ayuda de un planímetro y cartas topográficas escala 1:50 000 y 1:250 000 se estimaron superficies ocupadas por colonias potenciales de 76 800 ha y 125 500 ha, respectivamente (Treviño-Villarreal & Grant, 1998). Estas cantidades fueron mayores en 35.8% y 60.7% a las que se obtuvieron con los criterios aplicados al modelo digital de elevación del presente estudio. Comparando los datos de 1998 y el trabajo de campo de la presente investigación, se estimó una pérdida de hábitat de 2.69 ha/día o 18.68 m²/min.

Los resultados muestran una tendencia observada en otras especies del género *Cynomys* (Clippinger, 1989; González *et al.*, 2024; González-Saldívar, 2002). En esos estudios se reportó una pérdida importante del hábitat que ha sido aprovechada por actividades humanas en forma de agricultura y pastoreo (González *et al.*, 2012, 2024; Treviño-Villarreal & Grant, 1998).

MATRIZ DE DISTANCIAS DE COLONIAS ACTIVAS DE *Cynomys mexicanus*

En general, la cercanía a caminos de terracería y asfalto de las actividades humanas de agricultura-pastoreo y pastoreo fue corta. Las colonias activas fueron atravesadas por caminos y las actividades humanas fueron cercanas, esto coincidió con mediciones que han sido una variable de importancia en la biología de la especie para estudios de dispersión y fragmentación del hábitat (Arasa-Gisbert *et al.*, 2021; Garrett & Franklin, 1988; González *et al.*, 2014). Para el caso de Nuevo León, la buena conexión y cercanía a caminos, áreas de actividades humanas por agricultura y pastoreo causó que las colonias activas redujeran sus superficies hasta en un 95% y que en otros casos desaparecieran (González *et al.*, 2012, 2024; Pando *et al.*, 2013; Treviño-Villarreal & Grant, 1998). Los casos más sensibles ocurrieron en el estado de Nuevo León en el intervalo <1994, donde el deterioro de la salud del ecosistema fue evidente (Estrada-Castillón *et al.*, 2010; Zaragoza-Quintana *et al.*, 2022).

Conclusiones

Se encontró que hubo 375 sitios con una superficie de 49 273 ha con características potenciales para contener colonias de *C. mexicanus* en Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas. En cambio, se encontraron 57 colonias activas que cubrieron 23 120 ha en campo. El bioma antropogénico agostaderos poblados estuvo presente el 65% en las áreas de colonias potenciales y el 65% en colonias activas. Fue la agricultura y pastoreo con más de 30 años y distancias cercanas (0.0 km-0.1 km) a caminos de terracería y carreteras lo que ha provocado la disminución de las superficies de las colonias activas. El área detectada fue 1603 ha mayor que el reporte de 1998 (3.3%), lo que hace poco probable que las colonias activas de *C. mexicanus* en forma histórica llegaran a cubrir de 76 800 ha a 125 500 ha, por lo que la pérdida de hábitat se estimó en 2.69 ha/día. El uso del modelo digital de elevación permitió relacionar las variables abióticas, inclinación del terreno (%) y elevación (m), de tal forma que al interceptarlos utilizando geoprocésamiento con los biomás antropogénicos del área de estudio se obtuvo como resultado la superficie de colonias potenciales para *C. mexicanus*. El producto final fue similar a un modelo geoespacial de hábitat para la especie.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Referencias

- Ahmad, F., Goparaju, L., & Qayum, A. (2018). Wildlife habitat suitability and conservation hotspot mapping: Remote Sensing and GIS based decision support system. *AIMS Geosciences*, 4(1), 66-87. <https://doi.org/10.3934/geosci.2018.1.66>
- Arasa-Gisbert, R., Arroyo-Rodríguez, V., & Andresen, E. (2021). El debate sobre los efectos de la fragmentación del hábitat: causas y consecuencias. *Ecosistemas*, 30(3), 1-9. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2156>
- Cano-García, A., Cerna-Chávez, E., Ceballos-Ceballos, A. G., & Ochoa-Fuentes, Y. M. (2023). Detección y cuantificación de plaguicidas en heces de *Cynomys mexicanus* en colonias de dos estados del norte de México. *Acta Universitaria*, 33, 1-17. <http://doi.org/10.15174/au.2023.3865>
- Ceballos, G., Mellink, E., & Hanebury, L. R. (1993). Distribution and conservation status of prairie dogs *Cynomys mexicanus* and *Cynomys ludovicianus* in Mexico. *Biological Conservation*, 63(2), 105-112. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(93\)90497-0](https://doi.org/10.1016/0006-3207(93)90497-0)
- Clippinger, N. W. (1989). *Habitat Suitability Index Models: black-tailed prairie dog*. Biological Report 82. Fish and Wildlife Service. https://pubs.usgs.gov/publication/fwsobs82_10_156
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (2022). *Provincias biogeográficas mexicanas. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. México. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/region/biotic/zecol1mgw
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (2008). *Climas. Escala 1:1000000. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. México. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/clima/climas/clima1mgw
- Ellis, E. C., Klein, K., Siebert, S., Lightman, D., & Ramankutty, N. (2010). Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), 589-606. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00540.x>
- Ellis, E. C., & Ramankutty, N. (2008a). *Anthropogenic Biomes of the World, Version 1 [dataset]*. NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H4H12ZXD>
- Ellis, E. C., & Ramankutty, N. (2008b). Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(8), 439-447. <https://doi.org/10.1890/070062>

- Estrada-Castillón, E., Scott-Morales, L., Villarreal-Quintanilla, J. A., Jurado-Ybarra, E., Cotera-Correa, M., Cantú-Ayala, C., & García-Pérez, 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. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1870-34532010000200014&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- García-Elizondo, R., & López, T. R. (1997). *Rancho demostrativo Los Ángeles. Monografía histórica (1930-1995)* (1a ed.). UAAAN.
- Garrett, M. G., & Franklin, W. L. (1988). Behavioral ecology of dispersal in the black-tailed prairie dog. *Journal of Mammalogy*, 69(2), 236-250. <https://doi.org/10.2307/1381375>
- González-Saldívar, F. (2002). *El perro de las praderas mexicano (Cynomys mexicanus Merriam, 1892) en el Noreste de México. Desarrollo de un modelo para la evaluación de su hábitat* (1a ed.). Semarnat.
- González, D. U., Estrada, A., & Cantú, C. (2012). Análisis de fragmentación en colonias del perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*). *Ciencia UANL*, 15(57), 43-49. <https://www.redalyc.org/pdf/402/40223164008.pdf>
- González, D. U., González, H. D., Malacara, I. R., & Uvalle, J. I. (2023). El perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*) en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Mastozoología (Nueva Época)*, 13(2), 12-21. <https://doi.org/10.22201/ie.20074484e.2023.13.2.392>
- González, D. U., García, M. A., Heredia, F., & Uvalle, J. I. (2024). Distribución geográfica de *Cynomys mexicanus*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(1), 1-15. <https://doi.org/10.19136/era.a11n1.3766>
- Hale, S. L., Koprowski, J. L., & Archer, S. R. (2020). Black-tailed prairie dog (*Cynomys ludovicianus*) reintroduction can limit woody plant proliferation in grasslands. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 1-11. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2020.00233>
- Hoogland, J. L. (Ed.). (2006). *Conservation of the black-tailed prairie dog: Saving North America's western grasslands* (1a ed.). Island Press.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2013). *Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM)*. <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- Kerr, J. T., & Ostrovsky, M. (2003). From space to species: ecological applications for remote sensing. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(6), 299-305. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00071-5](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00071-5)
- Klein, K., Beusen, A., Doelman, J., & Stehfest, E. (2017). Anthropogenic land use estimates for the Holocene – HYDE 3.2. *Earth System Science Data*, 9(2), 927-953. <https://doi.org/10.5194/essd-9-927-2017>
- Kushwaha, S., & Roy, P. (2002). Geospatial technology for wildlife habitat evaluation. *Tropical Ecology*, 43, 137-150.
- Lillesand, T. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7a ed.). Wiley.
- Menke, K. (2016). *Mastering QGIS* (2a ed.). Packt Publishing Ltd.
- Mohamed, A., DeClerck, F., Verburg, P. H., Obura, D., Abrams, J. F., Zafra-Calvo, N., Rocha, J., Estrada-Carmona, N., Fremier, A., Jones, S. K., Meier, I. C., & Stewart-Koster, B. (2024). Securing Nature's Contributions to People requires at least 20%–25% (semi-) natural habitat in human-modified landscapes. *One Earth*, 7(1), 59-71. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.12.008>
- Myers, R. H., Walpole, R. E., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (8a ed.). Prentice Hall.
- Pando, M., Reyna, L., Scott, L., & Jurado, E. (2013). Caracterización del suelo en colonias de *Cynomys mexicanus* Merriam, 1892 en el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(17), 98-105. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63433991010>
- Quinn, J. E., & Ellis, E. C. (2023). Anthromes. En N. Wallenhorst & Ch. Wulf (eds.), *Handbook of the anthropocene: humans between heritage and future* (pp. 203-211). Springer International Publishing.
- Riggio, J., Baillie, J. E. M., Brumby, S., Ellis, E., Kennedy, C. M., Oakleaf, J. R., Tait, A., Tepe, T., Theobald, D. M., Venter, O., Watson, J. E. M., & Jacobson, A. P. (2020). Global human influence maps reveal clear opportunities in conserving Earth's remaining intact terrestrial ecosystems. *Global Change Biology*, 26(8), 4344-4356. <https://doi.org/10.1111/gcb.15109>

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). (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*. <https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-059-semarnat-2010>
- Sidele, J. G., Johnson, D. H., & Euliss, B. R. (2001). Estimated areal extent of colonies of black-tailed prairie dogs in the Northern Great Plains. *Journal of Mammalogy*, 82(4), 928-936. <https://www.jstor.org/stable/1383471>
- Theobald, D. M., Kennedy, C., Chen, B., Oakleaf, J., Baruch-Mordo, S., & Kiesecker, J. (2020). Earth transformed: detailed mapping of global human modification from 1990 to 2017. *Earth System Science Data*, 12(3), 1953-1972. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1953-2020>
- Treviño-Villarreal, J., & Grant, W. E. (1998). Geographic range of the endangered Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*). *Journal of Mammalogy*, 79(4), 1273-1287. <https://doi.org/10.2307/1383019>
- Yeaton, R. I., & Flores, J. L. (2006). Patterns of occurrence and abundance in colony complexes of the Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*) in productive and unproductive grasslands. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 22(3), 107-130. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57522310>
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis* (4a ed.). Pearson Education.
- 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, 1-19. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3495>