

Distribución geográfica de *Cynomys mexicanus*

Geographic distribution of *Cynomys mexicanus*

Dino Ulises González-Uribe¹, Mario Alberto García-Aranda^{2*}, Feliciano Heredia-Pineda³,
José Isidro Uvalle-Sauceda⁴

¹Departamento de Estadística y Cálculo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro No. 1923, CP. 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

²Especies, Sociedad y Hábitat AC, Dalí 413 Col. Misión Real. CP. 66640. Apodaca, Nuevo León, México.

³Mar y Sierra Salvaje AC. Rienda 273, Fraccionamiento Hacienda El Cortijo, CP. 25093. Saltillo, Coahuila, México.

⁴Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Carretera Nacional Kilómetro 145, AP 41, CP. 67700. Linares, Nuevo León, México.

*Autor de correspondencia: mgarcia_20@yahoo.com.mx

Artículo científico

Recibido: 03 de mayo 2023

Aceptado: 08 de diciembre 2023

RESUMEN. La distribución y rango geográfico de *Cynomys mexicanus* se estudió a través de bases de datos geográficas (BDG) y recorridos a pie en los estados de Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí, donde se ubicaron colonias activas (CA) de la especie. Se realizó una búsqueda de información en el período 1985-2022 para identificar BDG de CA que se proyectaron en Google Earth® para eliminar inconsistencias geográficas. Se comprobaron los registros en campo y se generó otra BDG a la que se le llamó distribución actual (DA), se estimaron índices de fragmentación de: interacción entre CA (*li*), aislamiento (*ri*) y conectividad (*ai*). Fue posible obtener ocho BDG, seis de ellas libres de inconsistencias geográficas, lo común fue carecer del Datum. La superficie de DA de CA estimada fue de 231.20 km², disminuyó 28.20% con respecto al 2004 (322 km²) y 11.70% comparada con 2012 (284.22 km²). A través de un análisis de componentes principales (ACP) y análisis multivariado discriminante (MANOVA) se evaluaron las relaciones estadísticas de los índices de fragmentación de las CA, las cuales mostraron que el aislamiento (*ri*) y conectividad (*ai*) explicaron la relación de las CA en los tres estados donde se distribuyen.

Palabras clave: Colonia activa, fragmentación, KML, WGS84, prueba de Wilk's.

ABSTRACT. The distribution and geographic range of *Cynomys mexicanus* was studied through geographic databases (GDB) and walking tours in the states of Coahuila, Nuevo León and San Luis Potosí, where active colonies (AC) of the species were located. An information search was conducted in the period 1985-2022 to identify AC GDB that were projected in Google Earth® to eliminate geographic inconsistencies. The records were checked in the field and another GDB was generated which was called current distribution (CD), fragmentation index was estimated of: interaction between AC (*li*), isolation (*ri*) and connectivity (*ai*). It was possible to obtain eight GDB, six of them free of geographical inconsistencies, the common thing was to lack the Datum. The CD area of AC was 231.20 km², decreased 28.20% from 2004 (322 km²) and 11.73% compared to 2012 (284.22 km²). Through a principal components analysis (PCA) and multivariate discriminant analysis (MANOVA), the statistical relationships of the AC fragmentation index were evaluated, which showed that isolation (*ri*) and connectivity (*ai*) explained the relationship of AC in the three states where they are distributed.

Key words: Active colony, fragmentation, KML, WGS84, Wilk's test.

Como citar: González-Uribe DU, García-Aranda MA, Heredia-Pineda F, Uvalle-Sauceda JI (2024) Distribución geográfica de *cynomys mexicanus*. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 11(1): e3766. DOI: 10.19136/era.a11n1.3766.

INTRODUCCIÓN

Con el nombre común de perrito llanero mexicano se designa a la especie *Cynomys mexicanus*, es un mamífero pequeño semifosorial y de hábitos diurnos relacionado con los sciuridos (ardillas de tierra). Habita en los estados mexicanos de Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí, formando agrupaciones sociales llamadas colonias activas (CA). La extensión total que cubren recibe el nombre de distribución geográfica, la cual ha sido estudiada por diversos autores (Treviño-Villarreal y Grant 1998, Scott-Morales et al. 2004). Las investigaciones reportan el nombre de la CA y ubicación, así como sus coordenadas geográficas (latitud y longitud), superficie y elevación, entre otras (Ceballos et al. 1993, Scott-Morales et al. 2004).

Se tiene conocimiento que el hábitat de *C. mexicanus* es aquél que está cubierto por la superficie de la organización social CA, en campo, esto puede identificarse por la presencia de montículos en el suelo que son las entradas a las madrigueras. Con el tiempo se sabe que ha disminuido esa extensión debido a la agricultura y pastoreo, en conjunto han ejercido cambios fuertes en el hábitat que se le han designado como fragmentación del paisaje (Treviño-Villarreal y Grant 1998, Arasa-Gisbert et al. 2021, Guernsey et al. 2023). Es innegable que el pastoreo de animales domésticos en el hábitat ha representado un beneficio económico que se ha combinado con la agricultura, más aún en áreas extensas del semidesierto mexicano, donde el valor ecológico de una especie como *C. mexicanus* no se ha apreciado ni entendido (Arasa-Gisbert et al. 2021, Rogan et al. 2023). Desde el punto de vista de conservación biológica, esta especie es endémica y categorizada como en peligro de extinción a nivel nacional e internacional (Treviño-Villarreal y Grant 1998, Scott-Morales et al. 2004, SEMARNAT 2010, Álvarez-Castañeda et al. 2019). Los estudios sobre el impacto de las actividades humanas sobre el hábitat de *C. mexicanus* son escasos y no han reportado la dimensión del daño de la especie en la extensión total del hábitat que ocupa (Treviño-Villarreal y Grant 1998, SEMARNAT 2010).

Los estudios más recientes estimaron en 2012 una superficie de 284.22 km² de CA y en 2004 de 322 km² en los tres estados de *C. mexicanus*, contra 476.7 km² en 1998 (Treviño-Villarreal y Grant 1998, Scott-Morales et al. 2004). Desde 1993 no se han observado CA en el estado de Zacatecas, por lo cual se le considera extirpado en ese lugar (Treviño-Villarreal y Grant 1998, Scott-Morales et al. 2004, Rogan et al. 2023). Los trabajos relacionados al tema de distribución geográfica de *C. mexicanus* en distintos períodos de tiempo mencionan cifras de superficie ocupada por CA (Ceballos y Wilson 1985, Treviño-Villarreal 1990, Ceballos et al. 1993, Treviño-Villarreal y Grant 1998, Scott-Morales et al. 2004).

Las investigaciones que se focalizaron al tema geográfico en la especie mencionan que se hicieron por revisión de literatura, comunicaciones personales y recorridos en campo (Scott-Morales et al. 2004). La importancia de lo anterior es que muestran el patrón de distribución en el tiempo, lo que representa un componente básico de la ecología y unidad básica de la biogeografía (MacKenzie et al. 2006, Kusch y Lane 2021). El objetivo del presente estudio fue obtener bases de datos geográficas (BDG) para proyectarlas con extensión digital KML (Keyhole Markup Language) y analizar el rango geográfico actual de las CA de *C. mexicanus* con datos de campo, estimar la superficie actual ocupada y encontrar relaciones a través de un análisis de fragmentación para conocer la dimensión de la disminución del hábitat de la especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

Se consideró la superficie conocida de CA de *C. mexicanus* comprendida en los estados de Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí (Tabla 1). Para obtener BDG, se proyectó la información anterior de CA en Google Earth® y Qgis®. La segunda etapa consideró recorridos a pie en las localidades citadas en los trabajos de la etapa anterior, identificando y ubicando CA de *C. mexicanus* (Figura 1).

Tabla 1. Superficies de colonias activas de *C. mexicanus*.

Autor	Superficie km ²
Ceballos y Wilson (1985)	800
Treviño-Villarreal (1990)	800
Ceballos et al. (1993)	600
Treviño-Villarreal y Grant (1998)	478
Scott-Morales et al. (2004)	322

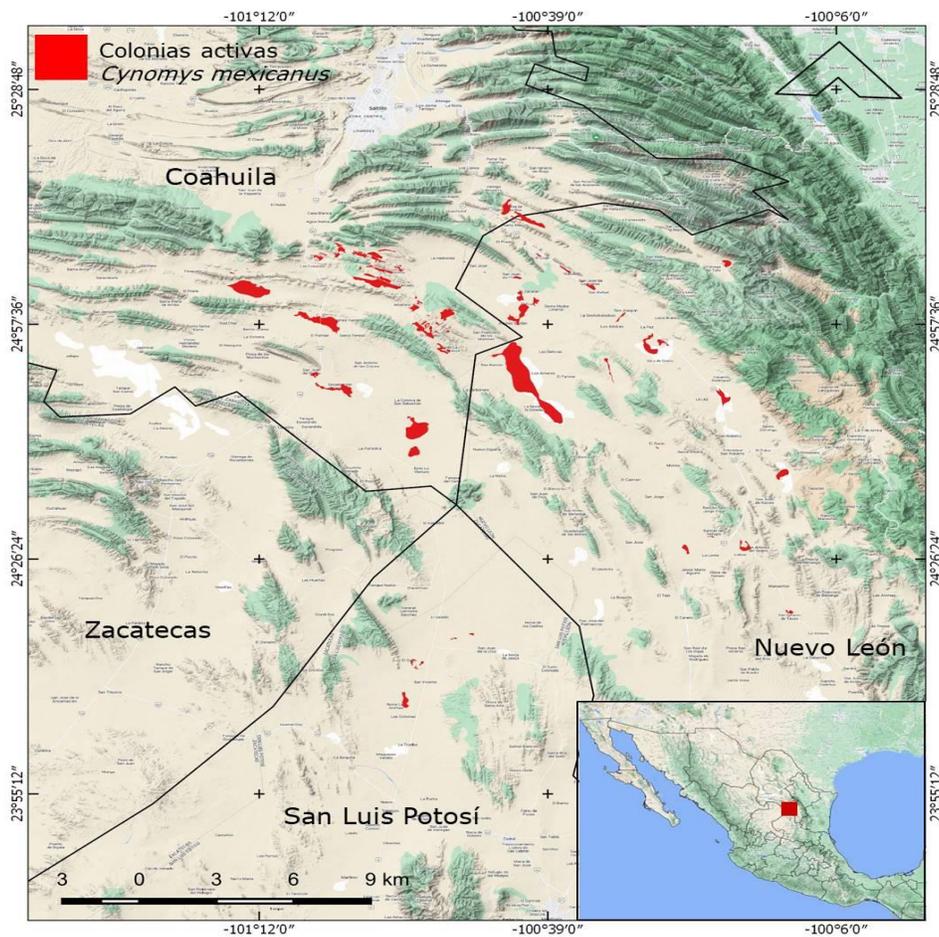


Figura 1. Área de estudio.

Distribución geográfica actual (DA)

Con ayuda de GPS (Global Positioning System) se delimitó el área de cada una de las CA de la segunda etapa, se identificó por el borde más externo considerándolo como el límite. La información geográfica obtenida con el dispositivo se proyectó en UTM (Universal Transverse Mercator) con el Datum WGS84 (World Geodetic System), los datos se procesaron en Qgis® y Google Earth®. El producto final fue un archivo vectorial de polígonos (AVP), por la forma que tuvieron se hizo referencia a parche-colonia, esta fue considerada la BDG del trabajo a comparar con las demás.

Inconsistencias geográficas

Las BDG obtenidas en la primera etapa fueron supervisadas debido a que una de las características principales de las CA de *C. mexicanus* es su distribución en comunidades de pastizal (Estrada-Castillón *et al.* 2010, Guernsey *et al.* 2023). Su hábitat principalmente se ubica en terrenos planos con pendientes ligeras (Treviño-Villarreal y Grant 1998). Además, el comportamiento de la especie no permitiría la formación de CA en las siguientes situaciones. 1. Coordenadas geográficas en pendientes pronunciadas, 2. Proyecciones en loma o montaña o 3. Reporte fuera del rango geográfico conocido. De esta forma se eliminaron las coordenadas de la BDG que no se les pudo confirmar su posición y no se relacionaron con una localidad humana cercana conocida. Por otro lado, se puso atención si se reportó el Datum y el formato de la coordenada (ejemplo: grados decimales, grados, minutos y segundos o UTM). Al final, se aplicó el Datum WGS84 en todas las coordenadas como una estandarización geográfica.

Análisis Estadístico

A las CA producto de la segunda etapa, se les aplicó una división en cinco categorías de superficies (CS) a través de una escala logarítmica de base 10, esto para dar orden al eje horizontal, 1) menos de 1 ha; 2) 1.1 a 10 ha; 3) 10.1 a 100; 4) 100.1 a 1 000 ha y 5) más de 1 000.1 ha (Walpole *et al.* 2007, Zavala y Cristóbal 2012). En Google Earth® se contabilizaron las vecindades entre CA, se midieron las distancias lineales para hacer un análisis de fragmentación (Forman y Godron 1986, Dramstad *et al.* 1996, Treviño-Villarreal y Grant 1998). Se obtuvo la relación del área de cada CA hacia las vecindades para obtener los estimadores I_i = Interacción entre CA, r_i = Aislamiento de la CA y a_i = Conectividad de la CA (Tabla 2). El comportamiento y dispersión de *C. mexicanus* incluyó dos distancias en el análisis a realizar (Tabla 3), Dispersión Intracolonia (DIC) y Dispersión Intercolonial (DIT) (Garret y Franklin 1988, Treviño-Villarreal y Grant 1998).

Se utilizó Excel® para obtener los estimadores del análisis de fragmentación mostrados en la Tabla 2, con ellos se generó una matriz de doble entrada, donde se consideraron los valores entre la *i*-ésima y *j*-ésima CA estudiada. Debido a que en el hábitat estudiado hubo actividades humanas por agricultura y pastoreo que se traslaparon o separaron las CA, no se tomaron esas distancias para evitar inconsistencias en el análisis (Treviño-Villarreal y Grant 1998). Se estimó una matriz de correlación (r Pearson, $P < 0.01$) para las variables, CS, v = número de CA vecinas consideradas, I_i = Interacción entre CA, r_i = Aislamiento de la CA y a_i = Conectividad de la CA. Con lo anterior, se estimaron modelos de regresión lineal simple que incluyeran el intercepto ($y = mx + b$, Dónde: m = pendiente de la línea de regresión y b = intercepto) y los que lo omitieron ($y = mx$). Se utilizó Excel® para estimar los modelos y su significancia estadística ($P < 0.01$) (Walpole *et al.*

2007). Posteriormente, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con el software PAST® ver. 2.01 (Hammer y Harper 2006). Para observar posibles relaciones en las variables del análisis de fragmentación se consideró al estado como grupo geográfico (Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí). Por otro lado, también se evaluó la información con un análisis multivariado discriminante (MANOVA) utilizando la prueba de Wilk's (Hammer y Harper 2006, Everitt y Hothorn 2010) para probar diferencias ($P < 0.01$) entre los grupos geográficos que contenían CA.

Tabla 2. Estimadores del análisis de fragmentación.

Estimador	Estadístico
Interacción entre CA	$l_i = \sum_{i=1}^v \frac{A_i}{d_{ij}^2}$
Aislamiento de la CA	$r_i = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^v d_{ij}$
Conectividad de la CA	$a_i = \sum_{i=1}^v d_{ij}$

Dónde: CA = Colonia activa, v = número de CA consideradas, A_j = Área de la j-ésima CA en consideración y d_{ij} = distancia entre la i-ésima y j-ésima CA.

Tabla 3. Distancias de dispersión para análisis de fragmentación.

	Dispersión	Distancia (m)
DIC	Intracolonia	200
DIT	Intercolonia	5 000

RESULTADOS

Bases de datos geográficas de *C. mexicanus*

La revisión de literatura proporcionó BDG basadas en la Tabla 1, estuvieron constituidas por puntos o coordenadas geográficas que representaron a cada una de las CA de *C. mexicanus* (Tabla 4). Se revisó en todos los casos que no tuvieran inconsistencias geográficas y posteriormente se aplicó el Datum WGS84. De los trabajos que no mostraron información geográfica para ser proyectada en Qgis® o Google Earth®, no se construyó la BDG. De la misma forma para las que no hubo mención de los métodos con los que se obtuvo la superficie reportada. Se obtuvieron ocho BDG de distintos tamaños, la de menor tamaño fue $n = 15$ y la más grande $n = 2\ 026$. La primera de $n = 22$ coordenadas geográficas, al sobreponerla en Google Earth® para verificarla, se encontró que los puntos no coincidieron con el rango geográfico conocido de la especie. Con mediciones lineales se estimó a partir de una coordenada a la CA más cercana hasta 100 m de alejamiento. Como no tuvo reporte del Datum se asignó WGS84, esta acción logró que la BDG representara las CA en cuestión. Se reportó en ese trabajo 600 km² de CA de *C. mexicanus* (Tabla 1) del rango geográfico estudiado y no mencionó la metodología para estimar dicha superficie. La siguiente fuente de información proporcionó la segunda BDG de $n = 88$ y la tercera de tamaño inicial de $n = 112$ (Tabla 4). Al sobreponer en Google Earth® se observaron coordenadas repetidas, el tamaño final fue de $n = 109$. La cuarta BDG de $n = 54$, mostró relaciones geográficas basadas en las fuentes

de información anteriores, al eliminar las inconsistencias y aplicar la proyección WGS84 y sobreponerlas en Google Earth® coincidieron con las CA. La quinta BDG de $n = 15$ y sexta de $n = 2\ 026$, se encontraron en línea en formato KML, ninguna de ellas fue considerada en la Tabla 1. La quinta reportó registros para los estados de Zacatecas y San Luis Potosí, solamente, representó un rango de distribución restringido. La sexta de $n = 2\ 026$ registros, no hizo distinción entre CA o colonias inactivas, hicieron una búsqueda de información en el periodo de 1891-2012 con citas no verificables. Ese rango de distribución fue amplio y no creíble (Tabla 4). La séptima BDG de $n = 57$, no mostró inconsistencias geográficas, representó el penúltimo reporte de superficie de CA de *C. mexicanus*.

Tabla 4. Bases de datos geográficas (BDG) de colonias activas de *C. mexicanus*.

Base de datos	<i>n</i>	Inconsistencias geográficas	Validación de registros	Datum*
Ceballos y Wilson (1985)	0	-	-	-
Treviño-Villarreal (1990)	0	-	-	-
Ceballos et al. (1993)	22	Si	Si	Ninguno
Treviño-Villarreal y Grant (1998)	88, 109	Si	Si	Ninguno
Scott-Morales et al. (2004)	54	Si	Si	Ninguno
CONABIO (2016)	15	No	No	WGS84
CONABIO (2020)	2 026	No	No	WGS84
González et al. (2012)	57	No	Si	WGS84
Presente investigación	57	No	Si	WGS84

*Posterior a la verificación se aplicó el Datum WGS84 donde no lo hubo.

En la segunda etapa de esta investigación, con recorridos en campo se obtuvo la octava BDG de $n = 57$, con ella se determinó la superficie de CA de *C. mexicanus*, la cual fue de 231.20 km². En la Figura 2 se muestran los resultados para los estados de Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí, para comparación se incluyeron los resultados de 1998 (476.70 km²), 2004 (322.00 km²) y 2012 (284.22 km²). Como un comparativo de disminución de superficie con los datos de la presente investigación, se elaboró una matriz de pérdida porcentual con los datos anteriores, adicionando 1 255 km² y 768 km², citados en 1998 (Tabla 5). Se hizo una verificación en el estado de Zacatecas y no se encontró evidencia de CA de *C. mexicanus*.

Análisis de fragmentación

La distribución de CS de las CA de *C. mexicanus* se muestra en la Figura 3 y las estadísticas del análisis de fragmentación en la Tabla 6. La matriz de correlaciones lineales entre las variables inmiscuidas se presenta en la Tabla 7 ($P < 0.01$). Los modelos lineales ajustados (Tabla 8) representaron las variables con correlaciones significativas ($P < 0.01$), los que incluyeron el intercepto, $y = mx + b$ (Dónde: m = pendiente de la línea de regresión y b = intercepto) fueron los nones (1, 3 y 5) y, los que lo omitieron, los pares (2, 4 y 6). En algunos casos los valores de los interceptos de la línea de regresión fueron negativos (Tabla 8, modelos 3 y 5), al forzarlos al origen con Excel® se eliminaron (Tabla 8, modelos 4 y 6), respectivamente. La relación lineal entre v el

número de CA vecinas con la conectividad a_i se muestra en la Figura 4a y la relación lineal entre el aislamiento de la CA r_i y la conectividad a_i se muestra en la Figura 4b. La relación lineal entre v el número de CA vecinas con el aislamiento de la CA r_i se muestra en la Figura 4c. Los modelos forzados al origen de la Tabla 8 tuvieron significación estadística (2, 4, 6, $P < 0.01$), además, fueron los más correlacionados y los que estadísticamente pueden ser utilizados para efectos de estimación de las variables inmiscuidas, el mismo caso fue para el modelo 3, el 1 y 5 fueron significativos a una probabilidad mayor que los anteriores ($P < 0.05$).

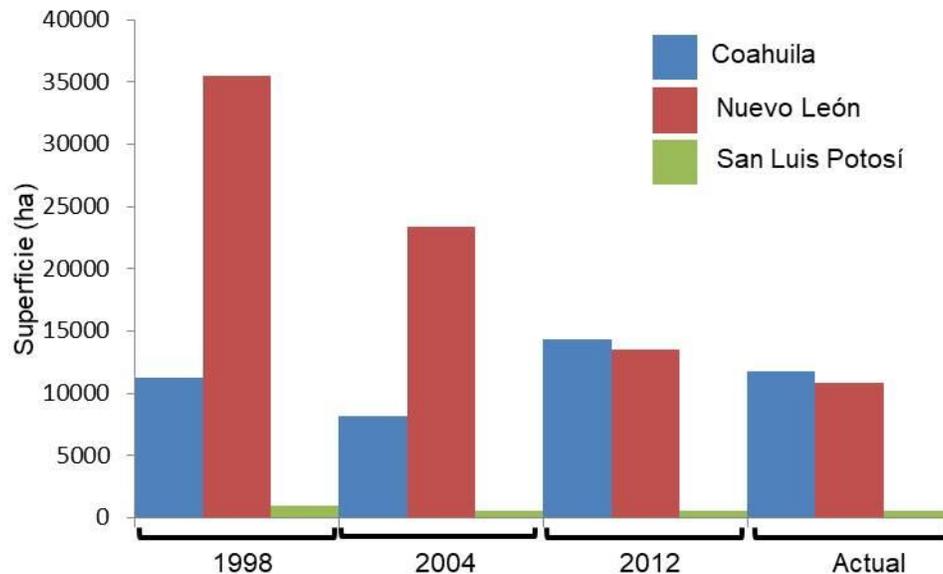


Figura 2. Superficie actual ocupada por colonias activas de *C. mexicanus*.

Tabla 5. Pérdida de superficie en km² de colonias activas de *Cynomys mexicanus*.

	1998a 1 255 km ²	1998b 768 km ²	1998c 476.7 km ²	2004 322 km ²	2012 284.2 km ²	2023 231.2 km ²
1998a						
1998b	487 (38.8%)					
1998c	778 (62.0%)	291 (37.9%)				
2004	933 (74.3%)	446 (58.1%)	155 (32.5%)			
2012	971 (77.4%)	484 (63.0%)	192 (40.4%)	37.8 (11.7%)		
2023	1 024 (81.6%)	537 (69.9%)	246 (51.5%)	90.8 (28.2%)	53.0 (18.7%)	

1998a, 1998b y 1998c datos reportados por Treviño-Villarreal y Grant (1998); 2004 datos de Scott-Morales et al. (2004) y González et al. (2012), 2023 datos de la presente investigación.

El ACP aplicado a las variables de la Tabla 6, se muestra en la Figura 5a, los dos primeros componentes principales explicaron la relación entre las variables inmiscuidas (CP1 = 46.995%, CP2 = 24.226%) para las $n = 57$ CA en los tres estados (Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí). El r_i = aislamiento y la a_i = conectividad tuvieron una correlación altamente significativa $P < 0.01$ (Tabla 6). Los tres grupos formados entre las CA (Figura 5b) al ser analizados con el MANOVA, indicaron

diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre ellos, con una lambda de 0.5534 en la prueba de Wilk's ($P < 0.01$).

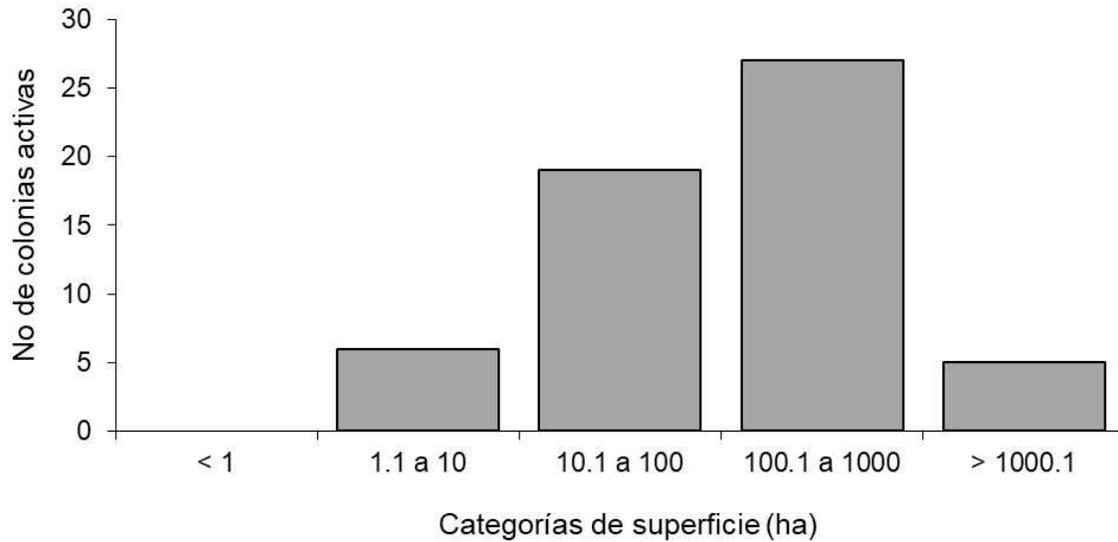


Figura 3. Categorías de superficie (CS) de las colonias activas de *C. mexicanus*.

Tabla 6. Resumen estadístico para colonias activas por categoría de superficie (CS), número de colonias en CS (x_i), interacción (l_i), aislamiento (r_i) y conectividad (a_i).

Estado	CS	x_i	l_i	r_i	a_i
Coahuila	1	0	0.000	0.000	0.000
	2	3	0.703	1 945.8	7 301.3
	3	6	1.059	2 287.8	8 653.3
	4	13	1.810	1 954.3	7 167.0
	5	4	0.385	1 727.1	5 936.3
Nuevo León	1	0	0.000	0.000	0.000
	2	3	0.002	3 012.0	3 012.0
	3	8	0.083	2 280.9	3 512.3
	4	13	1.400	1 232.6	2 183.6
	5	1	0.381	4 311.0	4 311.0
San Luis Potosí	1	0	0.000	0.000	0.000
	2	0	0.000	0.000	0.000
	3	5	0.477	1 610.2	2 114.8
	4	1	0.000	0.000	0.000
	5	0	0.000	0.000	0.000

Tabla 7. Coeficientes de correlación para las variables del análisis de fragmentación de colonias activas de *Cynomys mexicanus*.

	CS	v	l_i	r_i	a_i
CS					
v	0.0704				
l_i	0.1868	-0.0495			
r_i	-0.1466	0.4307**	-0.1566		
a_i	-0.0030	0.9112**	-0.1770	0.5916**	

Dónde: CS = Categoría de superficie, v = número de CA vecinas, l_i = interacción, r_i = aislamiento de la CA, a_i = conectividad de la CA, CA = Colonia activa. **Valores altamente significativos ($P < 0.01$).

Tabla 8. Modelos de regresión lineal simple ajustados para v = número de colonias vecinas consideradas, r_i = aislamiento de la colonia y a_i = conectividad de la colonia.

Modelo	P < 0.01
(1) $r_i = 1\ 077.50 + 346.17\ v$	0.0189 *
(2) $r_i = 561.66\ v$	0.0003 **
(3) $a_i = -1\ 950.94 + 3\ 365.72\ v$	0.0000 **
(4) $a_i = 2\ 975.53\ v$	0.0000 **
(5) $a_i = -4\ 314.86 + 6.178\ r_i$	0.0233 *
(6) $a_i = 4.59\ r_i$	0.0012 **

NS = No significativo, * significativo, ** altamente significativo en el modelo de regresión.

DISCUSIÓN

De los trabajos utilizados en la primera etapa de esta investigación que proporcionaron información para una BDG, el 87.5% tuvieron inconsistencias. En ningún caso se mencionó el Datum y software de GPS para la proyección y visualización de la información, las referencias geográficas se revisaron con información digital disponible en línea para confirmar su veracidad. Para validar una BDG de CA, se representó a cada una de ellas con una coordenada geográfica, se le asignó un nombre de acuerdo a la localidad más cercana o referencia espacial como ranchería, ejido, loma, cerro o sugerencia de una base de datos anterior. Para estandarizar las ubicaciones geográficas, se aplicó en todos los casos el Datum WGS84. No hubo la información suficiente en la literatura para obtener la superficie de CA y del rango de distribución geográfica de *C. mexicanus*, en algunos casos se mencionó el dato numérico y no el método de obtención de la información. Solo hubo tres estudios que incluyeron las superficies individuales de las CA con información del

método de estimación de la misma (Scott-Morales *et al.* 2004, González *et al.* 2012). Se revisaron para detectar inconsistencias geográficas y se corrigieron para que representaran adecuadamente las ubicaciones de las CA de la especie en el noreste de México (Velázquez 2012, Kusch y Lane 2021).

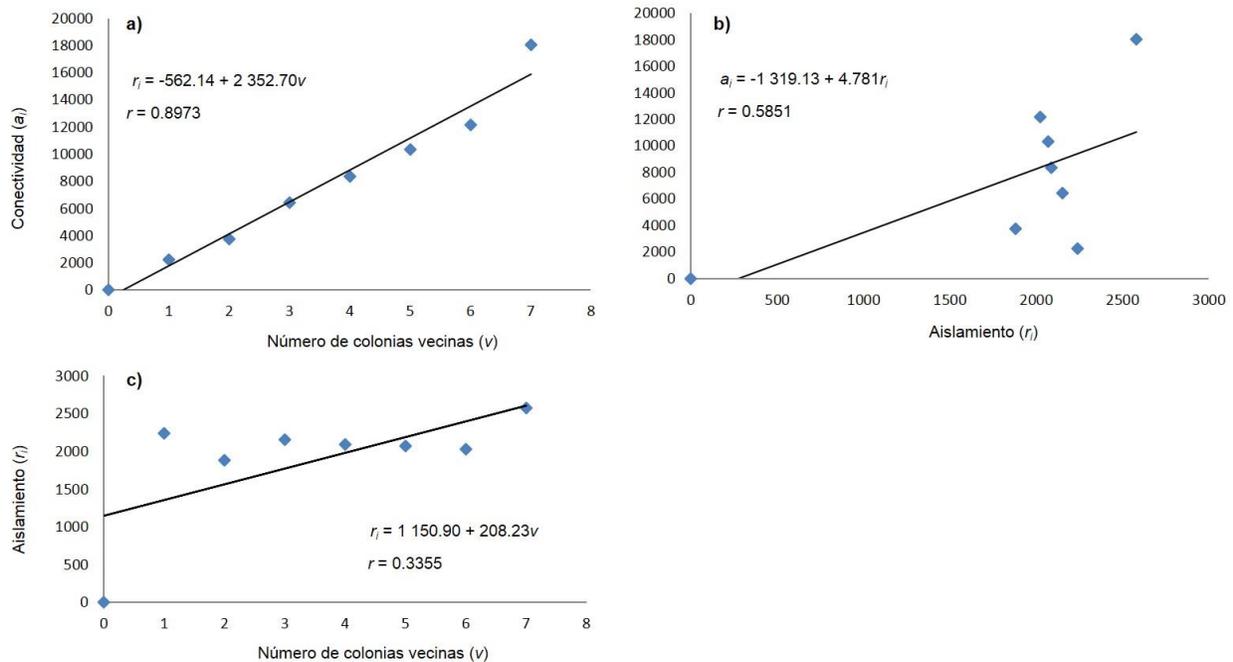


Figura 4. Relación lineal entre a) v el número de colonias vecinas y la conectividad a_i , b) aislamiento r_i y la conectividad a_i y c) entre v el número de colonias vecinas y el aislamiento r_i .

Con las consideraciones anteriores y recorridos en campo, en la segunda etapa fue posible obtener una BDG utilizando GPS con el Datum WGS84, de cada una de las CA de *C. mexicanus* ($n = 57$) distribuidas en los estados de Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí. Se estimó la distancia intracolonia de dispersión y se consideraron todas las vecindades menores a 200 m para conformar una sola CA y no duplicar mediciones. En esta BDG fue posible medir la superficie individual, la distancia entre parches vecinos y la distancia máxima de dispersión de 5 000 m (Kusch *et al.* 2021). El producto final estuvo libre de inconsistencias geográficas (Velázquez 2012) fue confirmado por visualización en Google Earth®, dando la seguridad de representar las CA de la DA.

La variación de las superficies de las CA de *C. mexicanus* fue amplia, la formación en CS a través de logaritmo base 10 de los datos, mostró su distribución en la Figura 3. En campo no se encontraron CA menores a 1 ha, las de categoría 4 (47%) fueron más frecuentes que las de 1, 2 y 3 juntas (44%). Las CS 4 y 5, representaron el 56% las cuales tuvieron más de 100 y 1 000 ha, respectivamente. La separación a través de distancias lineales de las CA, fueron evaluadas con Google Earth®, se evitaban áreas de cultivo y accidentes topográficos en el rango geográfico estudiado (Kusch y Lane 2021, Guernsey y Grassel 2023). Se utilizó Excel® como una matriz de doble entrada, donde las filas fueron la i -ésima y las columnas la j -ésima CA, la base de datos la conformaron las distancias, se evitaban áreas de cultivo y accidentes topográficos. Se estimaron

las estadísticas de fragmentación y los resultados se concentraron junto con las CS y número de CA por estado (Tabla 6).

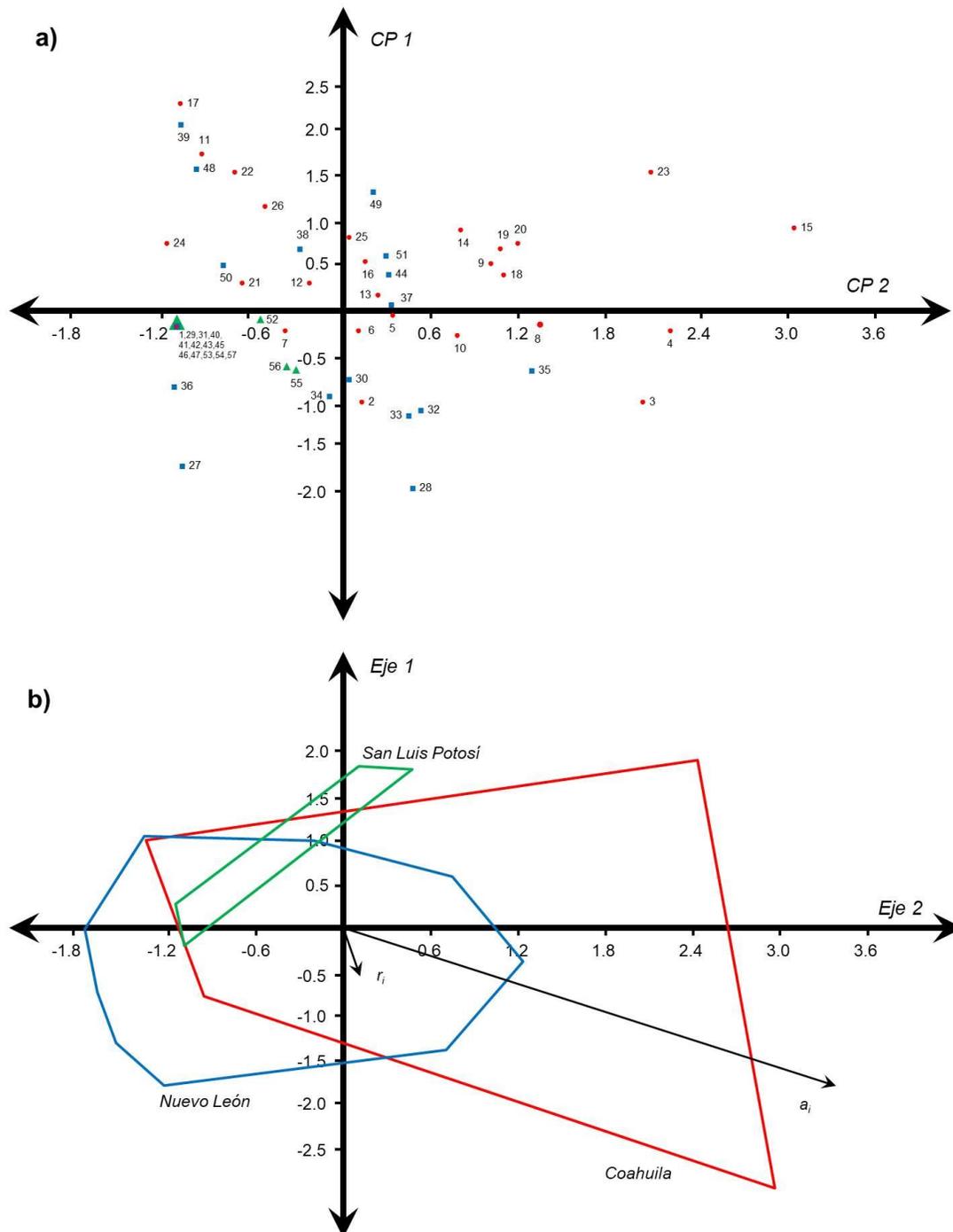


Figura 5. a) Análisis de Componentes Principales (ACP), b) Análisis Multivariado Discriminante (MANOVA) aplicado a las variables de la Tabla 6 (r_i = aislamiento, a_i = conectividad) (● = Coahuila 1 - 26, ■ = Nuevo León 27 - 51, ▲ = San Luis Potosí 52 - 57).

La superficie de CA para el 2004 fue de 322 km² y en 2012 de 284.22 km², esto representó el 11.7% de disminución. En este estudio se estimaron 231.20 km², lo cual fue una disminución del 18.7% en 11 años (Figura 2). En el estado de Coahuila aumentó la superficie de CA de 2004 (82 km²) a 2012 (143.16 km²) y disminuyó para el 2023 (117.30 km²). Dichas superficies representaron en el 2004 el 25.5%, en 2012 el 50.4% y, en este estudio el 50.7%; fue el estado con mayor superficie de CA. En Nuevo León, las superficies fueron en 2004 de 234 km², para 2012 de 135.15 km², en el presente estudio de 108.56 km². Hubo una reducción de 2004 a 2012 de 98.84 km² y de 2012 a 2023 disminuyó 26.59 km². Representó el segundo lugar de CA de los tres estados. Para San Luis Potosí, la superficie en 2004 fue de 6.00 km², en 2012 de 5.93 km², en el presente de 5.33 km². Hubo una disminución de superficie de CA de 2004 a 2012 (0.07 km²) y una disminución de 2012 a 2023 de (0.60 km²). Representó el tercer lugar de CA de los tres estados. En general, los resultados mostraron contracción del rango geográfico en los tres estados, manifestándose en disminución de superficie de CA, situación similar en otras especies de *Cynomys* (Kusch et al. 2021, Guernsey y Grassel 2023).

La pérdida de superficie fue evidente, si se toma en cuenta las estimaciones mencionadas en Treviño-Villarreal y Grantt (1998) de 1 255 km² y 768 km² y 476.7 km² (Tabla 5). Las dos primeras cantidades son estimaciones topográficas obtenidas con planímetro por comunicaciones personales del posible rango de distribución de las CA. La tercera fue el resultado de trabajo de campo, de esta forma, se compararon con las superficies reportadas en 2004, 2012 y el estudio actual. Se vislumbran dos escenarios, el primero si se toman esas dos superficies, la pérdida promedio fue del 57.2% al 66.8% que va de 439 - 839 km² (Tabla 5). El segundo sin tomarlas en cuenta, en 25 años la superficie de CA de *C. mexicanus* ha disminuido en promedio 41.4% lo que representa 198 km² (Treviño-Villarreal y Grant 1998, Scott-Morales et al. 2004, González et al. 2012). Las estimaciones están por debajo del rango de otras especies del género *Cynomys* las cuales llegan a una pérdida del 98% de la superficie (Guernsey et al. 2023).

El trabajo de campo y las mediciones mostraron que la superficie ocupada por CA de *C. mexicanus* tuvo cambios, los cuáles se manifestaron en disminución y aumento de la distribución en los cuatro puntos cardinales. En el estado de Coahuila se observó en este estudio una reducción al oeste debido a que la CA El Berrendo reportada en 2004 y 2012 no tuvo actividad, en esa dirección el rango disminuyó 8.5 km. Se encontró un nuevo registro hacia el norte, el cual se nombró Emiliano Zapata, el rango aumentó en 5 km en esa dirección. En Nuevo León en dirección sureste, se encontró un nuevo registro al que se le asignó el nombre de San Ignacio Texas, el rango aumentó 15.6 km. En San Luis Potosí, la CA El Manantial fue la última al sur del estado, con respecto a los reportes de 2004, 2012 y el actual estudio, se midió la disminución en esa dirección y fue de 18 km. Este tipo de cambios en el rango geográfico estudiado, en otras especies de mamíferos pequeños en superficies más grandes, se atribuyó al cambio de clima y actividades humanas (Teta et al. 2014), el segundo factor fue observado en el área de estudio en forma de ganadería y agricultura, Rogan et al. (2023), indicó que esto puede provocar impactos en la población biológica, caracterizado por la reducción en la extensión del rango, si bien hay consenso en que los efectos son negativos en pérdida de hábitat y biodiversidad, las investigaciones sobre el tema han recibido poca atención (Arasa-Gisbert et al. 2021).

El ACP (Figura 5a), mostró como las CA de *C. mexicanus* en los tres grupos geográficos (Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí) se relacionaron en los cuatro cuadrantes (en sentido

contrario a las manecillas del reloj) considerando las variables de la Tabla 6. El aislamiento r_i y la conectividad a_i explicaron cómo se agruparon las CA con la mayor interacción, el menor aislamiento y la mejor conectividad en los estados, ellas tuvieron $v = 3$ a 13 vecindades no importando la CS. La matriz de correlación mostró que la interacción l_i no tuvo significación estadística ($P > 0.01$), lo cual depende directamente de la superficie de las CA vecinas a distancias menores a 5 000 m e inversamente de la suma acumulada de ellas (Forman y Godron 1986, Kusch et al. 2021, Rodríguez-Barrera et al. 2022, Rogan et al. 2023). Esto en forma práctica se debe a que se pierde la conexión entre las CA y en consecuencia las aísla y no les permite la interacción con las demás. Las CA con baja interacción, bajo aislamiento y baja conectividad, tuvieron $v < 3$ vecindades. Finalmente, los valores de interacción más bajos fueron los nulos ($l_i = 0.000$) porque las CA no tuvieron vecindades ($v = 0$), lo que les produjo aislamiento ($r_i = 0.000$) y no les permitió conectividad ($a_i = 0.000$). En otras palabras, las CA sin interacción, aisladas y no conectadas, tuvieron $v = 0$ vecindades.

A través del MANOVA se encontraron diferencias altamente significativas (lambda de Wilk's = 0.5534, $P < 0.01$) entre los grupos geográficos en las variables de la Tabla 6 mostrado en la Figura 5b. Esto indicó que el aislamiento r_i y la conectividad a_i explicaron como las CA se agruparon dentro de cada polígono en una forma semejante al resultado de ACP (Hammer y Harper 2006, Everitt y Hothorn 2010).

En los recorridos de campo durante la toma de datos, se observó actividades humanas en la forma de agricultura del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*), alfalfa (*Medicago sativa*) entre otros; visiblemente causaron fragmentación en el hábitat estudiado. Representaron barreras y límites para la dispersión de la especie, se tradujo en falta de conectividad y aislamiento entre CA que disminuyeron la interacción entre CA vecinas o en su caso, hicieron nulas las posibilidades de movimiento intercolonial. Observaciones similares fueron para las actividades de pastoreo por ganado doméstico en la superficie de CA. Lo anterior, puede traducirse en fragmentación del paisaje que provocó la contracción del rango geográfico de las CA de *C. mexicanus*, en respuesta a factores adicionales como las condiciones ambientales en los extremos de la distribución (Arasa-Gisbert et al. 2021, Kusch et al. 2021, Rogan et al. 2023).

CONCLUSIONES

Se obtuvieron ocho BDG por revisión de literatura de CA de *C. mexicanus*, en todos los casos se aplicó el Datum WGS84, se eliminaron inconsistencias geográficas en aquéllas que así lo requirieron. El trabajo de campo permitió obtener una BDG que cumplió con los objetivos de este estudio y que contribuyó con el análisis de la distribución del rango geográfico y de fragmentación del hábitat de la especie. A través del análisis de los estimadores de fragmentación se encontró que las CA del estado de Coahuila tuvieron una mejor interacción, están menos aisladas y mejor conectadas. Continúan las del estado de Nuevo León con valores medianos, las cuáles disminuyeron la superficie de sus CA, por último, las del estado de San Luis Potosí, mostraron valores más bajos y por lo tanto son las más fragmentadas, fue donde hubo menos CA y menos superficie. La distribución geográfica de la especie se estimó en 231.20 km², se cuantificaron

cambios en el rango geográfico en los cuatro puntos cardinales, lo cual representó la BDG de esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro a través de la Dirección de Investigación por el apoyo al proyecto, Estimación del modelo de hábitat para *Cynomys mexicanus* en el noreste de México, dentro del programa de Zonas Áridas. A los revisores que aportaron comentarios y sugerencias que mejoraron el escrito para su publicación.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Castañeda ST, Castro-Arellano I, Lacher T, Vázquez E (2019) *Cynomys mexicanus*. The IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/species/6089/139607891>. Fecha de consulta: 2 de mayo de 2023.
- 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>.
- Ceballos G, Mellink E, Hanebury L (1993) Distribution and conservation status of prairie dogs *Cynomys mexicanus* and *Cynomys ludovicianus* in Mexico. *Biological Conservation* 63: 105-112. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(93\)90497-O](https://doi.org/10.1016/0006-3207(93)90497-O).
- Ceballos G, Wilson DE (1985) *Cynomys mexicanus*. *Mammalian Species* 248: 1-3. DOI: 10.2307/3503981.
- CONABIO (2016) *Cynomys mexicanus* (perrito llanero mexicano) Registros de presencia usados para elaborar el mapa de distribución potencial. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/biodiv/distpot/dpmamif/dpmrodent/cme004dpgw. Fecha de consulta: 2 de mayo de 2023.
- CONABIO (2020) *Cynomys mexicanus* (perrito llanero mexicano) Colonias activas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/biodiv/distpot/dpmamif/dpmrodent/cme004dpgw. Fecha de consulta 2: de mayo de 2023.
- Dramstad EW, Olson DJ, Forman TT (1996) *Landscape ecology principles in landscape architecture and land-use planning*. Washington, USA. 80p.
- Estrada-Castillón E, Scott-Morales L, Villarreal-Quintanilla JA, 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: 401-416. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2010.002.231>.
- Everitt B, Hothorn T (2010) *A handbook of statistical analyses using R*. CRC Press. Florida, USA. 345p.
- Forman TT, Godron M (1986) *Landscape ecology*. John Wiley and Sons. New York, USA. 609p.
- Garret GM, Franklin LM (1988) Behavioral ecology of dispersal in the black-tailed paired dog. *Journal of Mammalogy* 64: 236-256. <https://doi.org/10.2307/1381375>.
- González UDU, Estrada E, Cantú C (2012) Análisis de fragmentación en colonias del perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*). *Ciencia UANL* 15: 1-7.
- Guernsey NC, Lendrum PE, Krank LS, Grassel SM (2023) Post-translocation dynamics of black-tailed prairie dogs (*Cynomys ludovicianus*): A successful conservation and human-wildlife conflict mitigation tool. *Ecology and Evolution* 13(1): 1-14. <https://doi.org/10.1002/ece3.9738>.
- Hammer Ø, Harper DA (2006) *Paleontological data analysis*. Blackwell Publishing, Malden, Massachusetts, USA. 351p.
- Kusch JM, Matzke CC, Lane JE (2020) Reproductive failure predicts intracolony dispersal of female black-tailed prairie dogs (*Cynomys ludovicianus*) in a northern population. *Western North American Naturalist* 80(2): 157-164. <https://doi.org/10.3398/064.080.0203>.

- Kusch JM, Conway SE, Kapchinske A, Lane JE (2021) Reproductive phenology and seasonal mass dynamics of black-tailed prairie dogs (*Cynomys ludovicianus*) at their northern range limit. *Canadian Journal of Zoology* 99(4): 257-268. <https://doi.org/10.1139/cjz-2020-0054>.
- Kusch JM, Lane JE (2021) Determinants of social structure in a northern population of black-tailed prairie dogs, *Cynomys ludovicianus*. *Animal Behaviour* 178: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2021.05.017>.
- MacKenzie DI, Nichols JD, Royle JA, Pollock KH, Bailey LL, Hines JE (2006) Occupancy estimation and modeling. Inferring patterns and dynamics of species occurrence. Academic Press. Massachusetts, USA. 324p.
- Rodríguez-Barrera MG, Kühn I, Estrada-Castillón E, Cord AF (2022) Grassland type and seasonal effects have a bigger influence on plant functional and taxonomical diversity than prairie dog disturbances in semiarid grasslands. *Ecology and Evolution* 12(7): 1-16. <https://doi.org/10.1002/ece3.9040>.
- Rogan JE, Parker MR, Hancock ZB, Earl AD, Buchholtz EK, Chyn K, Martina J, Fitzgerald LA (2023) Genetic and demographic consequences of range contraction patterns during biological annihilation. *Scientific Reports* 13(1): 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28927-z>.
- SEMARNAT (2010) Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestre-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Secretaría Del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Nación (Segunda sección). Ciudad de México, México. 78 p. http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf. Fecha de consulta: 2 de mayo de 2023.
- 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: 1095-1101. <https://doi.org/10.1644/BER-107.1>.
- Teta P, Formoso A, Tamme M, Tommaso D, Fernández F, Torres J, Pardiñas U (2014) Micromamíferos, cambio climático e impacto antrópico: ¿Cuánto han cambiado las comunidades del sur de América del Sur en los últimos 500 años?. *Therya* 5: 7-38. <https://doi.org/10.12933/therya-14-183>.
- Treviño-Villarreal J (1990) The annual cycle of the Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*). *Occasional Papers of the Museum of Natural History* 139: 1-27.
- Treviño-Villarreal J, Grant W (1998) Geographic range of the endangered Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*). *Journal of Mammalogy* 79: 1273-1287. <https://doi.org/10.2307/1383019>.
- Velázquez A (2012) El contexto geográfico de los lagomorfos de México. *Therya* 3: 223-238. <https://doi.org/10.12933/therya-12-81>.
- Walpole ER, Myers RH, Myers SL, Ye K (2007) Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. 8a. Edición. Prentice Hall. Estado de México. México. 816p.
- Zavala MJ, Cristóbal AJ (2012) Escala logarítmica diagramática de severidad de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) en papaya (*Carica papaya*). *Fitosanidad* 16: 83-86.