



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

---

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS  
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

## CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ

POSTGRADO EN  
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

**EL PERRITO DE LAS PRADERAS (*Cynomys mexicanus*) EN  
COAHUILA, MÉXICO**

**FRANCISCO EMMANUEL PINEDA PÉREZ**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

Salinas de Hidalgo San Luis Potosí, México

Junio, 2018

---



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS  
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

## CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el(la) que suscribe **Francisco Emmanuel Pineda Pérez**, alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la Consejería del Dr. **Luis Antonio Tarango Arámbula**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **El perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*) en Coahuila, México** y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de la Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, a 15 de Junio de 2018

Firma

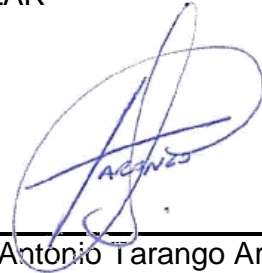
Vo. Bo. Profesor Consejero

La presente tesis, titulada: **EL PERRITO DE LAS PRADERAS (*Cynomys mexicanus*) EN COAHUILA, MÉXICO**, realizada por el alumno **Francisco Emmanuel Pineda Pérez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

CONSEJO PARTICULAR

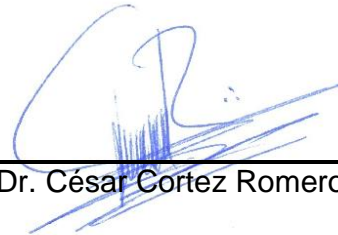
**CONSEJERO:**



---

Dr. Luis Antonio Tarango Arámbula

**DIRECTOR DE TESIS:**



---

Dr. César Cortez Romero

**ASESOR:**



---

Dr. Eloy Alejandro Lozano Cavazos

**ASESOR:**



---

Dr. Carlos Ramírez Herrera

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí  
Junio, 2018

# EL PERRITO DE LAS PRADERAS (*Cynomys mexicanus*) EN COAHUILA, MÉXICO

Pineda-Pérez, Francisco Emmanuel

Colegio de Postgraduados, Junio 2018

## RESUMEN GENERAL

En México *Cynomys mexicanus* llamado comúnmente perrito de las praderas es una especie que de acuerdo a la NOM 059 está en peligro de extinción (SEMARNAT 2010). Esta especie es ecológicamente importante por sus relaciones interespecíficas con otras especies en riesgo y los servicios ecosistémicos que brinda a los pastizales. Sin embargo, a pesar de su importancia, *C. mexicanus* ha sufrido un impacto negativo, pues en los últimos 20 años, esta especie ha perdido entre el 62 y 74 % de su hábitat, aumentando de esta manera su vulnerabilidad. Por ello, la presente investigación esboza su esfuerzo en describir la situación actual del perrito de las praderas en Coahuila México, analizar que variables del hábitat son determinantes para su presencia y densidad, el nivel de interacción y conectividad de las colonias, su variabilidad genética y estructura genética de las colonias en Coahuila, México. El presente trabajo inicio con la fase de campo en noviembre de 2016 y culminó en noviembre de 2017 y la etapa de laboratorio y análisis de las muestras inicio en mayo de 2017 y culminó en Febrero de 2018. Se determinó que la densidad de perritos varió entre 4 y 12.8 perritos ha<sup>-1</sup>. Las variables del hábitat más relacionadas con la densidad de perritos fueron la vegetación viva y vegetación seca. Asimismo, se determinó cuales colonias desempeñan un papel clave de conexión entre ellas, resaltando la colonia del ejido Tanque de Emergencia, por su posible rol en el flujo de individuos como una población fuente en el área estudiada. Asimismo, en las secuencias de sangre analizadas, se registraron 157 sitios segregados, se encontraron diferencias significativas ( $p = 0.045$ ) en la prueba de Varianza Molecular; se encontraron 22 haplotipos, la varianza de  $k$  observada (456.7696) sobresale de la esperada (231.468). Tajima's  $D$  evidenció un resultado negativo (-1.39618) muy relacionado con la selección de alelos deletéreos o raros, debido a los conflictos antrópicos con la especie, lo cual indica que las poblaciones fueron reducidas drásticamente, Se generó el árbol filogenético, con una distancia promedio de (EUD = 0.60). Para poder estructurar la filogeografía, el árbol filogenético indicó que entre clados, existe cierta relación entre la distancia lineal con la distancia genética, por lo que, podemos inferir que en algunos casos las colonias cercanas podrían compartir el mismo clado. Los resultados del presente trabajo nos permiten observar la importancia que tienen las colonias en el flujo genético y de individuos, sin embargo, la colonia Tanque de Emergencia, se puede mencionar como la que podría tener mayor importancia, por ello se propone que esta colonia tenga dentro del contexto de manejo del hábitat como potencialmente colonia fuente o sumidero, para futuras repoblaciones.

**Palabras clave:** filogeografía, variables del hábitat, AMOVA, interconexión, conectividad.

## PRAIRIE DOG (*Cynomys mexicanus*) IN COAHUILA, MÉXICO

Pineda-Pérez, Francisco Emmanuel

Colegio de Postgraduados, Junio 2018

### GENERAL ABSTRACT

In México *Cynomys mexicanus* commonly called mexican prairie dog is a species that according to NOM-059 is considered endangered. This species is ecologically important because of its interspecific relationships with other species at risk and the ecosystem services it provides to the grasslands. However, despite its importance, *C. mexicanus* has suffered a negative impact, because in the last 20 years, this species has lost between 62 and 74% of its habitat, thus increasing its vulnerability to extinction. Therefore, the present research outlines its effort in describing the current situation of the prairie dog in Coahuila México, analyzing which variables of its habitat are determinant in the presence and density of the prairie dog, as well as the level of interaction and connectivity of the colonies; likewise, its genetic variability and the genetic structure of the colonies in Coahuila, Mexico. These objectives with the purpose of proposing strategies that contribute to the permanence and viability of the species in the long term. This work started with the field phase of November 2016 and completed this stage in November 2017. In the same way, the laboratory stage and analysis of the samples began in May 2017 and ended in February 2018. It was determined that the prairie dogs densities range from 4 to 12.8 prairie dogs ha<sup>-1</sup>. The habitat variables most related to the density of prairie dogs were alive vegetation and dry vegetation (%). Likewise, it was determined that colonies play a key connecting role between them, highlighting the ejido Tanque de Emergencia colony, which plays a fundamental role for the flow of individuals in the studied area and could be participating as a source and sink population of individuals. Likewise, in the analyzed blood sequences, 157 segregated sites were recorded, significant differences were found ( $p = 0.045$ ) in the Molecular Variance test; 22 haplotypes were found, the observed variance of  $k$  (456.7696) exceeds that expected (231.468). Tajima's  $D$  showed a negative result (-1.39618), very related to the selection of deleterious or rare alleles, due to the anthropogenic conflicts with the species, which indicates that the populations were being reduced, the phylogenetic tree was generated, with a distance average of (EUD = 0.60). To be able to structure phylogeography, this phylogenetic tree indicates that between clades, there is a certain relationship between linear distance and genetic distance, so we can infer that in some cases nearby colonies could share the same clade. The results of the present work allow us to observe the importance of the colonies in the genetic flow and individuals, however, the Colony Tanque de Emergencia, can be mentioned as the one that could have greater importance, for that reason it is proposed that this colony, in the context of habitat management could be mentioned as a potential source or sink colony, for future repopulations.

**Palabras clave:** phylogeography, habitat variables, AMOVA, interconnection, connectivity.

## **DEDICATORIA**

Le dedico la presente tesis a mi familia, mi motor, mis dos razones para ser mejor persona cada día Nay y Mali, sin su apoyo, sin su ternura y sin su amor, no habría motivo por el cual esforzarse al doble.

A mi familia mis seres queridos, ambas mamás que me regañan y me presionan a seguir adelante, mis papás por ser un ejemplo de trabajo y esfuerzo diario, hermanos, tíos, sobrinos, primos, todos sin duda alguna hacen más felices mis días.

Y sin duda alguna, a quien me muestra su amor con cada uno de sus maravillas, sin duda alguna no juegas a los dados con tu creación, sabes cómo admirarnos con cada hermosa obra de tus dedos, gracias por ser Yahveh.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco profundamente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo brindado a este servidor durante los dos años de beca sin los cual no se vería finalizado este proyecto de posgrado.

Al Colegio de Postgraduados, al Campus San Luis Potosí y a sus directivos y administrativos, por los servicios, educación, apoyo y facilidades a lo largo de esta trayectoria denominada, maestría.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por las facilidades y la disposición en el uso de sus instalaciones del Rancho "Los Ángeles".

Al Doctor Luis Antonio Tarango por ser guía, mentor y consejero durante todo el proceso de estudio en el posgrado. Gracias por las pláticas y consejos, así como la confianza depositada en un servidor.

Al Doctor Cesar, por fungir como director de tesis, con sus comentarios, orientación y apoyo fue posible culminar una parte que parecía imposible para un servidor. Al Doctor Alejandro y Doctor Carlos por ser parte del consejo, sus comentarios, criticas, revisiones y comentarios asertivamente fortalecieron este trabajo.

Al Doctor Saúl Ugalde, gracias por el apoyo en más de una ocasión. A mis amigos de la maestría, mis compañeros de habitación los escandalosos, Mingo y Jarvis, la estancia en Salinas fue de lo más ligera posible gracias a ustedes. A todas las amistades que se generaron en el Campus, un lugar tan pequeño nos permite generar tanta unidad.

Por supuesto gracias a mi muy unida familia, siempre en las buenas y en las malas. Mis papás por ser pilar en cada decisión que tomo. Mi segunda mamá, por terminar de enseñarme a no solo comer enlatados, entre eso y muchas cosas más. Nombrar a toda la familia me haría escribir una tesis más. Por supuesto agradezco a mi esposa, gracias Nay por todo tu cariño, comprensión y paciencia, sin tu apoyo en más de una ocasión esta labor no hubiera culminado, gracias por darme una hermosa corona que alegra mis días con su sonrisa, sin dudas es Maliyah por todos.

Sobretudo agradezco a Dios por darme fortaleza, cuidado, protección, sabiduría y capacidad. A TI SEA LA GLORIA Y HONRA.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
CAPITULO 1. HÁBITAT, DENSIDAD E INTERCONECTIVIDAD DE LAS COLONIAS DEL PERRITO DE LAS PRADERAS ( <i>Cynomys mexicanus</i> ) EN COAHUILA, MÉXICO.....	6
1.1 RESUMEN.....	6
1.2 ABSTRACT .....	6
1.3 INTRODUCCIÓN .....	8
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
1.4.1 Área de estudio	9
1.4.2 Determinación del área ocupada por <i>Cynomys mexicanus</i> y su número de colonias 10	
1.4.3 Caracterización del hábitat	10
1.4.4 Estimación de la densidad poblacional de perrito	11
1.4.5 Densidad de perritos y variables del hábitat	12
1.4.6 Interacción y conectividad de las colonias de perritos	13
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	14
1.5.1 Relación de las variables del hábitat y densidad de perritos	16
1.5.2 Índice de Interacción	18
1.5.3 Índice de conectividad	20
1.6 CONCLUSIÓN .....	22
1.7 LITERATURA .....	23
CAPITULO 2. DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA DEL PERRITO DE LAS PRADERAS ( <i>Cynomys mexicanus</i> ) EN COAHUILA, MÉXICO .....	28
2.1 RESUMEN.....	28
2.2 ABSTRACT .....	29
2.3 INTRODUCCIÓN .....	30
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
2.4.1 Área de estudio	31
2.4.2 Colecta de muestras	31
2.4.3 Extracción de DNA y amplificación por Reacción en cadena de la Polimerasa (PCR)	32
2.4.4 Diversidad y estructura genética	33
2.5 RESULTADOS .....	34
2.5.1. Colonias y medidas morfométricas de los perritos	34
2.5.2 Diversidad genética	35
2.5.3 Estructura genética	38



2.6	CONCLUSIONES.....	40
2.7	LITERATURA CITADA.....	40
	CONCLUSIONES GENERALES .....	46

## INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Figura 1.1	Ubicación de las colonias de <i>C. mexicanus</i> , y las parcelas y transectos evaluados durante el presente estudio en Coahuila, México.	13
Figura 1.2.	Índice de interacción [izquierda] y conectividad [derecha] en las colonias de <i>C. mexicanus</i> en Coahuila, México.	22
Figura 2.1.	Colonias de perrito de las praderas en Coahuila, México.	32
Figura 2.2	Lazos ubicados en los pozos o entradas de madrigueras de <i>C. mexicanus</i> (a y b) y la contención de un individuo de <i>C. mexicanus</i> (c).	33
Figura 2.3.	Muestras de sangre colectadas de las distintas colonias de <i>C. mexicanus</i> en Coahuila en los meses de marzo a julio 2017.	36
Figura 2.4.	Filogeografía del perrito de las praderas ( <i>C. mexicanus</i> ) en Coahuila, México.	39
Cuadro 1.1.	Tipo de propiedad, número de colonias y densidad de perrito llanero ( <i>C. mexicanus</i> ) en Coahuila, México.	15
Cuadro 1.2.	Resultados de regresión Poisson aplicada a las variables del hábitat de <i>Cynomys mexicanus</i> en Coahuila, México.	17
Cuadro 1.3.	Índices de interacción según el modelo propuesto por Treviño-Villareal y Grant (1998) aplicado a las colonias de <i>C. mexicanus</i> en Coahuila, México.	18
Cuadro 1.4.	Índices de conectividad aplicado a las colonias de <i>C. mexicanus</i> en Coahuila, México de acuerdo al modelo propuesto por Pascual-Horta y Saura (2006).	20
Cuadro 2.1.	Muestras de sangre de <i>C. mexicanus</i> extraídas de las colonias de Coahuila en el año 2017.	34
Cuadro 2.2.	Promedios y desviación estándar ( $\pm$ ) de las medidas morfométricas de individuos capturados por ejidos en Coahuila, México.	36

Cuadro 2.3 Cuadro 2.3 Diversidad genética de perrito de las praderas *C. mexicanus* en Coahuila, México

37

## INTRODUCCIÓN GENERAL

México es considerado uno de los 17 países megadiversos (Mittermeier 1988; Ceballos *et al.* 1998), con aproximadamente 90 mil taxas, los cuales representan aproximadamente entre el 9 y 12 % de la riqueza del planeta; aproximadamente el 40 % de esta riqueza de taxas son endémicas (Martínez-Meyer *et al.* 2014). México posee una riqueza sorprendente de mamíferos (Arita, 1997), dicha riqueza de mastofauna comprende en un 77 % a tallas menores a los 5 kg de los órdenes Rodentia, Chiroptera y Soricomorpha (Arroyo-Cabrales *et al.* 2010).

Gran parte de la riqueza y biodiversidad de México se encuentra en las zonas áridas, sobre todo en el llamado Desierto Chihuahuense (Cartron *et al.* 2005). Algunos estudios mencionan que cerca del 63% de la extensión territorial del país, presenta un índice de aridez (Díaz-Padilla *et al.* 2011); por ello, estos ecosistemas son importantes en la conservación de la Biodiversidad. Sin embargo, Whitford (1997) menciona que las zonas áridas presentan un problema de desertificación por pérdida de cobertura vegetal natural y de productividad. Esto se debe al cambio de uso de suelo por las actividades agropecuarias y la intervención de especies invasoras, generando una marginación y desplazamiento de especies de fauna nativa que pueden categorizarse como indicadoras (Buffington y Herbel 1965).

La pérdida de especies o su desplazamiento han generado un decremento en poblaciones silvestres de México, por lo que se ha recurrido a clasificar las especies de acuerdo a su estado de conservación en su medio natural, como lo es la Norma Oficial Mexicana 059, la cual menciona que en México hay 49 especies posiblemente extintas del medio natural, 475 en peligro de extinción, 896 amenazadas y 1185 sujetas a protección especial (SEMARNAT 2010). Las especies que han sido indexadas tienen como principal problemática desde su vulnerabilidad frente a actividades humanas, hasta una distribución demasiado restringida, lo que se define como endemismo, el cual ha sido causado por cambios climáticos y orográficos, aislando especies durante la época del Pleistoceno, en la cual, por efecto de las glaciaciones, muchas especies redujeron sus hábitats (Goodwin 1995; Mead *et al.* 2009; Arroyo-Cabrales *et al.* 2010; Castellanos-Morales *et al.* 2016). Por ello, algunos investigadores utilizan el análisis bioestadístico, específicamente la filogeografía estadística para determinar el origen de las especies

endémicas (McCullough y Chesser 1987; Riddle *et al.* 1993; Fernández 2012; Castellanos-Morales *et al.* 2015).

Una especie importante para México por su endemismo y que de acuerdo a la NOM 059 es considerada en peligro de extinción (SEMARNAT 2010), es el perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*). Esta especie es ecológicamente importante por sus relaciones interespecíficas con otras especies en riesgo como el gorrión de worthen (*Spizella wortheni*) (Scott-Morales *et al.* 2009; Canales-del Castillo *et al.* 2010); además, existen estudios de como especies del mismo género de *Cynomys* (*C. ludovicianus*) se relacionan con especies de reptiles y anfibios que también presentan una categoría de riesgo (Santos-Barrera *et al.* 2008). Esta relación ocurre cuando *C. mexicanus* abandona sus madrigueras deja un espacio que puede ser utilizado como refugio y protección por otras especies (Mellink y Madrigal 1993). Asimismo, *C. mexicanus* coexiste con otra especie en categoría de Amenazada (NOM-059-SEMARNAT-2010) y de importancia ecológica-cultural: el águila real (*Aquila chrysaetos*). Al respecto, Bravo *et al.* (2015) hacen referencia al perrito de la pradera como presa potencial del águila real, demostrando de esta manera cómo especies de depredadores dependen de las poblaciones de *C. mexicanus*.

A pesar de su importancia, *C. mexicanus* ha sufrido un impacto negativo, pues en los últimos 20 años, esta especie ha perdido entre el 62 y 74 % de su hábitat (Ceballos *et al.* 1993; Treviño-Villarreal y Grant 1998; Scott-Morales *et al.* 2005). En este contexto, Treviño-Villareal y Grant (1998) registraron un rango histórico de distribución aproximado de 1250 km<sup>2</sup>, mientras que Scott-Morales *et al.* (2004) sólo 322 km<sup>2</sup>. Esta reducción en su hábitat ocasiona una mayor vulnerabilidad para la especie por problemas de endogamia y por ende una baja variabilidad genética (Castellanos-Morales *et al.* 2015; Castellanos-Morales *et al.* 2016).

Dentro de las zonas donde se distribuye el perrito de las praderas (*C. mexicanus*) se encuentra el estado de Coahuila, el cual cuenta con importantes hábitats para el desarrollo y ubicación de colonias de *C. mexicanus* (Scott-Morales *et al.* 2005). Estas colonias han sido estudiadas, pero los estudios genéticos sobre la especie son pocos y centralizados (Castellanos-Morales *et al.* 2016; Castellanos-Morales *et al.* 2015); por

esta razón, para generar mejores estrategias de conservación de esta especie, se debe dar énfasis al estudio de su diversidad genética en Coahuila, México. Esta tesis se compone de dos capítulos, el primero denominado “Hábitat, densidad e interconectividad de las colonias del perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*) en Coahuila, México y el segundo “Diversidad y estructura genética del perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*) en Coahuila, México”.

## LITERATURA CITADA

- Arita, H.T., 1997. The non-volant mammal fauna of Mexico: species richness in a megadiverse country. *Biodiversity y Conservation*, 6(6), pp.787–795.
- Arroyo-Cabrales, J., Polaco, O. J., Johnson, E., & Ferrusquía-Villafranca, I. (2010). A perspective on mammal biodiversity and zoogeography in the Late Pleistocene of México. *Quaternary International*, 212(2), 187-197.
- Bravo, V.M.G. et al., 2015. Golden eagle diet composition and breadth in Chihuahua, Mexico. *Acta zoológica mexicana*, 31(1), pp.116–119.
- Arroyo-Cabrales, J., Polaco, O. J., Johnson, E., & Ferrusquía-Villafranca, I. (2010). A perspective on mammal biodiversity and zoogeography in the Late Pleistocene of México. *Quaternary International*, 212(2), 187-197.
- Buffington, L.C. y Herbel, C.H., 1965. Vegetational Changes on a Semidesert Grassland Range from 1858 to 1963. *Ecological Monographs*, 35(2), pp.140–164.
- Arroyo-Cabrales, J., Polaco, O. J., Johnson, E., & Ferrusquía-Villafranca, I. (2010). A perspective on mammal biodiversity and zoogeography in the Late Pleistocene of México. *Quaternary International*, 212(2), 187-197.
- Cartron, J.-L.E., Ceballos, G. y Richard, S.F. eds., 2005. *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico* 1 edition., Oxford ; New York: Oxford University Press.
- Canales-del Castillo, R., González-Rojas, J. I., Ruvalcaba-Ortega, I., & García-Ramírez, Á. (2010). New breeding localities of Worthen's Sparrows in northeastern Mexico. *Journal of Field Ornithology*, 81(1), 5-12
- Castellanos-Morales, G., Ortega, J., Castillo-Gámez, R. A., Sackett, L. C., & Eguiarte, L. E. (2015). Genetic variation and structure in contrasting geographic distributions: widespread versus restricted black-tailed prairie dogs (subgenus *Cynomys*). *Journal of Heredity*, 106(S1), 478-490.
- Castellanos-Morales, G., Gámez, N., Castillo-Gámez, R. A., & Eguiarte, L. E. (2016). Peripatric speciation of an endemic species driven by Pleistocene climate change: the case of the Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*). *Molecular phylogenetics and evolution*, 94, 171-181.

- Ceballos, G., Mellink, E. y Hanebury, L.R., 1993. Distribution and conservation status of prairie dogs *Cynomys mexicanus* and *Cynomys ludovicianus* in Mexico. *Biological Conservation*, 63(2), pp.105–112.
- Ceballos, G., Rodríguez, P. y Medellín, R.A., 1998. Assessing Conservation Priorities in Megadiverse Mexico: Mammalian Diversity, Endemicity, and Endangerment. *Ecological Applications*, 8(1), pp.8–17.
- Díaz-Padilla, G., Sánchez-Cohen, I., Guajardo-Panes, R. A., Ángel-Pérez, D., Ana, L., Ruíz-Corral, A., ... & Ibarra-Castillo, D. (2011). Mapeo del índice de aridez y su distribución poblacional en México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(SPE), 267-275.
- Díaz-Padilla, G., Sánchez-Cohen, I., Guajardo-Panes, R. A., Ángel-Pérez, D., Ana, L., Ruíz-Corral, A., & Ibarra-Castillo, D. (2011). Mapeo del índice de aridez y su distribución poblacional en México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(SPE), 267-275.
- Fernández, J.A., 2012. Phylogenetics and biogeography of the microendemic rodent *Xerospermophilus perotensis* (Perote ground squirrel) in the Oriental Basin of Mexico. *Journal of Mammalogy*, 93(6), pp.1431–1439.
- Goodwin, H.T., 1995. Pliocene-Pleistocene Biogeographic History of Prairie Dogs, Genus *Cynomys* (Sciuridae). *Journal of Mammalogy*, 76(1), pp.100–122.
- Hoogland, J.L., 1998. Estrus and copulation of Gunnison's prairie dogs. *Journal of Mammalogy*, 79(3), pp.887–897.
- Martínez-Meyer, E., Sosa-Escalante, J.E. y Álvarez, F., 2014. El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, Supplement 1, pp.1–9.
- McCullough, D.A. y Chesser, R.K., 1987. Genetic Variation among Populations of the Mexican Prairie Dog. *Journal of Mammalogy*, 68(3), pp.555–560.
- Mead, J. I., White, R. S., Baez, A., Hollenshead, M. G., Swift, S. L., & Carpenter, M. C. (2010). Late Pleistocene (Rancholabrean) *Cynomys* (Rodentia, Sciuridae: prairie dog) from northwestern Sonora, Mexico. *Quaternary International*, 217(1-2), 138-142.
- Mellado, M., Olvera, A., Quero, A., & Mendoza, G. (2005). Dietary overlap between prairie dog (*Cynomys mexicanus*) and beef cattle in a desert rangeland of northern Mexico. *Journal of arid environments*, 62(3), 449-458.
- Mellado, M. y Olvera, A., 2008. Diets of prairie dogs (*Cynomys mexicanus*) co-existing with cattle or goats. *Mammalian Biology*, 73, pp.33–39.
- Mellink, E. y Madrigal, H., 1993. Ecology of Mexican Prairie Dogs, *Cynomys mexicanus*, in El Manantial, Northeastern Mexico. *Journal of Mammalogy*, 74(3), pp.631–635.
- Mittermeier, R.A., 1988. Primate diversity and the tropical forest. En E. O. Wilson, ed. *Biodiversity*. Washington, D. C.: National Academy Press, pp. 145–154.

- Riddle, B.R., Honeycutt, R.L. y Lee, P.L., 1993. Mitochondrial DNA phylogeography in northern grasshopper mice (*Onychomys leucogaster*) — the influence of Quaternary climatic oscillations on population dispersion and divergence. *Molecular Ecology*, 2(3), pp.183–193.
- Rioja-Paradela, T. M., Scott-Morales, L. M., Cotera-Correa, M., & Estrada-Castillón, E. (2008). Reproduction and behavior of the Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*). *The Southwestern Naturalist*, 53(4), 520-523.
- Sackett, L. C., Cross, T. B., Jones, R. T., Johnson, W. C., Ballare, K., Ray, C. & Martin, A. P. (2012). Connectivity of prairie dog colonies in an altered landscape: inferences from analysis of microsatellite DNA variation. *Conservation Genetics*, 13(2), 407-418..
- Sánchez-Cordero, V., Botello, F., Flores-Martínez, J. J., Gómez-Rodríguez, R. A., Guevara, L., Gutiérrez-Granados, G., & Rodríguez-Moreno, Á. (2014). Biodiversidad de Chordata (Mammalia) en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 496-504.
- Santos-Barrera, G., Pacheco, J. y Ceballos, G., 2008. Amphibians and reptiles associated with the prairie dog grasslands ecosystem and surrounding areas at the Janos Casas Grandes complex, northwestern Chihuahua, Mexico. *Acta zoológica mexicana*, 24(3), pp.125–136.
- Scott-Morales, L., Necedal, J., Cotera, M., & Canales-Delgadillo, J. (2008). Worthen's sparrow (*Spizella wortheni*) in the northern Mexican Plateau. *The Southwestern Naturalist*, 53(1), 91-95.
- Scott-Morales, L.M., Gottschalk, E. y Mühlenberg, M., 2005. Decline in the endemic Mexican prairie dog *Cynomys mexicanus*: what do we know about extinction risk? *Oryx*, 39(4), pp.389–397.
- 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. Available at: <http://bva.colech.edu.mx/xmlui/handle/1/1306> [Consultado febrero 12, 2016].
- Toledo, V.M. y Ordóñez, M. de J., 1993. The biodiversity scenario of Mexico: a review of terrestrial habitats. , pp.757–777.
- Treviño-Villarreal, J. y Grant, W.E., 1998. Geographic Range of the Endangered Mexican Prairie Dog (*Cynomys mexicanus*). *Journal of Mammalogy*, 79(4), pp.1273–1287.
- Whitford, W.G., 1997. Desertification and animal biodiversity in the desert grasslands of North America. *Journal of Arid Environments*, 37(4), pp.709–720.

# **CAPITULO 1. HÁBITAT, DENSIDAD E INTERCONECTIVIDAD DE LAS COLONIAS DEL PERRITO DE LAS PRADERAS (*Cynomys mexicanus*) EN COAHUILA, MÉXICO**

## **1.1 RESUMEN**

En México se distribuyen dos de las cinco especies del género *Cynomys*. Siendo la especie *Cynomys mexicanus* la más vulnerable, debido a la reducción de su hábitat por actividades antropogénicas y los estudios escasos de esta especie. Los objetivos de esta investigación fueron: 1) estimar el área ocupada por las colonias de *C. mexicanus* en Coahuila, 2) identificar las variables del hábitat que más se asocian con la presencia (densidad) del perrito y 3) evaluar la interacción e interconectividad de sus colonias en Coahuila, México. El área ocupada por las colonias se calculó en ArcGis 10.1. Para determinar la densidad se realizó un conteo de perritos por transectos y se calculó en Distance 6.2; las variables del hábitat (producción de materia seca en pasto y herbáceas, riqueza de pastos y herbáceas, y cobertura de suelo) fueron evaluadas en parcelas de 1 m<sup>2</sup>. La relación de éstas variables con la densidad se determinó con una Regresión Poisson. El nivel de interconexión entre colonias se evaluó utilizando modelos de Interactividad y Conectividad. La densidad de perritos varió entre 4 y 12.8 perritos ha<sup>-1</sup>. Las variables del hábitat más relacionadas con su densidad fueron la vegetación viva y vegetación seca (%). Se determinó que la colonia Tanque de Emergencia puede desempeñar un papel fundamental para el flujo de individuos en el área estudiada como una población fuente.

**Palabras Clave:** Variables del hábitat, colonias de perrito, conectividad, interacción, densidad de perritos.

## **1.2 ABSTRACT**

In Mexico, two of the five species of the genus *Cynomys* are distributed *Cynomys mexicanus* being the most vulnerable, due to the reduction of its habitat due to anthropogenic activities and scarce studies of this species. The objectives of this research were: 1) estimate the area occupied by the colonies of *C. mexicanus* in Coahuila, 2) identify the habitat variables most associated with the presence (density) of the prairie dog and 3) evaluate the interaction and interconnectivity from his colonies in Coahuila,



Mexico. The area occupied by the colonies was calculated in ArcGis 10.1. To determine the density, a count of prairie dogs was performed by transects and was calculated in Distance 6.2; the habitat variables (production of dry matter in pasture and herbaceous, grass and herbaceous richness, and soil cover) were evaluated in plots of 1 m<sup>2</sup>. The relationship of these variables with the density was determined with a Poisson regression. The level of interconnection between colonies was evaluated using Interactivity and Connectivity models. The density of prairie dogs varied between 4 and 12.8 puppies ha<sup>-1</sup>. The habitat variables most related to its density were live vegetation and dry vegetation (%). It was determined that the colony Tanque de Emergencia can play a fundamental role in the flow of individuals in the area studied as a source population.

**Key Words:** Habitat variables, prairie dogs colonies, conectivity, interaction, prairie dogs density.

### 1.3 INTRODUCCIÓN

En México se distribuyen dos de las cinco especies del género *Cynomys* (Ceballos et al. 1993) y son endémicas (Ceballos y Wilson 1985; Ceballos y Navarro, 1991). Ambas especies son claves por sus servicios ecosistémicos (Miller et al. 1994; Goguen, 2012). Estos servicios se refieren a la regulación y modificación de procesos ecológicos de su entorno y su impacto en la diversidad biótica (Mills et al. 1993; Power et al. 1996). Aunque existe controversia si el perrito de las praderas es responsable de la diversidad biológica alta en el ecosistema, es innegable que su rol ecológico es importante (Kotliar et al. 1997). Se ha estimado que a una colonia de perrito de la pradera le toma tres años para generar un cambio significativo en el paisaje del ecosistema que habita (Summers and Linder, 1978; Coppock et al. 1983a).

*C. mexicanus* conocida como perrito llanero mexicano o perrito de las praderas se distribuye en el noreste del país en Coahuila, Zacatecas, Nuevo León y San Luis Potosí, México (Ceballos y Wilson, 1985; Ceballos et al. 1993). Específicamente en el estado de Coahuila, las colonias de *C. mexicanus* se ubican en los municipios de Saltillo y Arteaga (Ceballos y Wilson, 1985; Treviño-Villareal y Grant, 1998). Esta especie ha enfrentado la amenaza de fragmentación su hábitat, el cual se ha reducido en más de un 70 % (Treviño-Villareal and Grant, 1998; Scott-Morales et al. 2004), la principal causa de esta reducción fue la mala planeación para mantener la coexistencia de *Cynomys* y las principales actividades productivas (agricultura y ganadería) en los ejidos de Saltillo y Arteaga, Coahuila. Por ello, *C. mexicanus* forma parte de la NOM-059 (SEMARNAT, 2010) en la categoría de especie en peligro de extinción y en la Lista Roja de especies amenazadas (UICN, 2017). No obstante, durante 2012-2016 formó parte del Programa de Conservación de Especies en Riesgo (SEMARNAT/CONANP, 2007) y actualmente, las acciones de conservación se apoyan con fondos del Programa de Manejo de Áreas Naturales Protegidas (PROMANP).

Esta especie, aunque ha sido muy estudiada, poco se ha publicado sobre ella en revistas con arbitraje. Algunos estudios se refieren a su ecología y coexistencia con roedores nocturnos y lagomorfos (Mellink y Madrigal, 1993), con aves como el gorrión de worthen (*Spizela wortheni*) (Scott-Morales et al. 2008), chorlito de montaña (*Charadrius montanus*) (González-Rojas et al. 2008) y la lechuza llanera (*Athene cunicularia*) (Ayma

et al. 2016), especies incluidas en la NOM-059. El perrito de las praderas es un componente de la dieta de otras especies también incluidas en la NOM-059 como, el águila real (*Aquila chrysaetos*) (Bravo-Vinaja et al. 2005), el tlalcoyote (*Taxidea taxus*) y la zorrilla nortea (*Vulpes macrotis*) (Hoogland et al. 2003), aunque su mayor depredador es el coyote (*Canis latrans*) (Mellink and Madrigal, 1993). Los suelos donde se ubican las colonias de *C. mexicanus* son de textura media a gruesa, con presencia de yeso o sin presencia de él, pero con contenidos altos de carbonatos (Pando-Moreno et al. 2013). Asimismo, sus colonias se asocian a ambientes con dominancia de hierbas y presencia de pastos halófilos (Estrada-Castrillón et al. 2010; Estrada-Castrillón et al. 2015) en sus periferias (Royo-Márquez y Báez-González, 2012). Su dieta principalmente se constituye de pastos (68%) y herbáceas (31%) (Mellado et al. 2005; Mellado y Olvera, 2008). Las poblaciones actuales de *C. mexicanus* se consideran relictos del Pleistoceno (Ceballos and Wilson, 1985), por lo que se deben integrar esfuerzos en conocer más sobre la especie y particularmente sobre la interacción entre colonias. Asimismo, es necesario complementar los estudios sobre la distribución, caracterización de su hábitat en diversos contextos ecológicos, conocer su estatus poblacional y la manera en que sus colonias interactúan genéticamente.

Por ello, los objetivos del presente estudio fueron: 1) estimar el área ocupada por las colonias de perritos de la pradera (*C. mexicanus*) en el estado de Coahuila, 2) identificar las variables del hábitat que más se asocian con la presencia (densidad) del perrito y 3) evaluar la interacción e interconectividad de sus colonias en Coahuila, México. Esta información complementa el conocimiento generado para el perrito de las praderas (*C. mexicanus*) y es útil para diseñar estrategias para su conservación en el noreste de México.

## **1.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **1.4.1 Área de estudio**

El estudio se realizó en los municipios de Saltillo y Arteaga, Coahuila de Zaragoza, México. El municipio de Saltillo cuenta con una extensión de 5,653 km<sup>2</sup>, lo equivalente al 3.72 % de la superficie total del estado. Los principales tipos de suelos son Xerosol, Feozem, Rendzina y Litosol. Dentro de estos, más de 40 mil hectáreas se dedican a la agricultura, 250 mil hectáreas a las prácticas pecuarias y 266 mil hectáreas al desarrollo

forestal. El principal tipo de tenencia es ejidal. La fauna nativa corresponde a las especies del semidesierto (Enciclopedia de Municipio y delegaciones de México). El municipio de Arteaga tiene una extensión territorial de solo 1 648.9 km<sup>2</sup>. Sus principales suelos son Xerosol, Regosol, Feozen. En Arteaga la principal actividad es la agricultura y en éste ocurren especies como águilas (*Aquila*, *Buteo*, *Parabuteo*), coyotes (*Canis latrans*), lince (*Linx rufus*) y jaguarundi (*Puma yagouaroundi*), entre los más importantes (Enciclopedia de Municipios y delegaciones de México).

El proyecto se realizó de septiembre 2016 a noviembre del 2017, registrando las colonias de *C. mexicanus* y el tipo de propiedad en donde éstas se localizaron, caracterizando su hábitat y determinando la densidad de perritos de la pradera en cada una de ellas.

#### **1.4.2 Determinación del área ocupada por *Cynomys mexicanus* y su número de colonias**

Para actualizar el área ocupada por *C. mexicanus* y contrastarla con la reportada por Treviño-Villareal y Grant (1998) y Scott-Morales *et al.* (2004) en Coahuila, México, se realizaron recorridos de campo y registraron las coordenadas de cada una de las colonias, esta información se obtuvo con un GPS marca Garmin eTRX® en coordenadas UTM. Para obtener el mapa actual del área y localización de las colonias en el estado de Coahuila, las coordenadas de cada una de las colonias se digitalizaron en imágenes Google Earth (2015), éstas se digitalizaron creando polígonos en formato KML, los cuales se convirtieron de formato KML a formato shapefile en ArcMap 10.1 de ESRI® (Figura 1.1). Finalmente, las colonias, se registraron de acuerdo al nombre del ejido, propiedad privada o propiedad federal y se clasificaron por literales.

#### **1.4.3 Caracterización del hábitat**

La caracterización del hábitat del perrito de las praderas (*C. mexicanus*) consistió en evaluar las variables reportadas en otros estudios (Pando-Moreno *et al.*, 2013). Estas fueron materia seca (PS) de especies de pastos y herbáceas, las cuales se recolectaron en prensas botánicas se deshidrataron e identificaron hasta especie. Con esta información se estimó la riqueza (R) de especies, la cobertura del suelo (vegetación viva, vegetación seca y suelo desnudo) y se crearon bases de datos en Access (MSOffice 2013).

Las variables PS y R se evaluaron en parcelas ( $n=50$ ) de  $1 \text{ m}^2$  (Gallina y González 2012), las cuales se establecieron de forma aleatoria (dentro del área de influencia de cada colonia) utilizando Hawth's Tools de ArcGis ESRI ®. El número de parcelas fue proporcional a la superficie ocupada por cada colonia (Figura 1.1). Las muestras de plantas recolectadas en cada parcela se clasificaron como gramíneas y herbáceas, se depositaron en bolsas de papel, se etiquetaron y se trasladaron al laboratorio de Suelo, Planta y Agua del Campus San Luis Potosí del Colegio de Postgraduados, ubicado en Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí. En el laboratorio, para determinar el PS de las muestras, éstas se secaron en un horno Felisa® Modelo FE-292D a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 24 h y se pesaron en una báscula digital marca TorRey® Serie L-EQ. La cobertura de suelo también se determinó en las mismas parcelas ( $n=50$ ), tomando 1 fotografía en cada una de ellas con una cámara Sony® y midiendo los porcentajes de cada categoría (Vegetación Viva, Vegetación Seca y Suelo desnudo) a través de un sensor remoto en el software ImageJ2 de FIJI (Rueden et al. 2017).

#### **1.4.4 Estimación de la densidad poblacional de perrito**

Para estimar la densidad poblacional del perrito por colonia, se establecieron transectos de una longitud de 200 m y un rango de visión a partir de su línea central de 100 m a la izquierda y 100 m a la derecha. En el desarrollo de esta actividad, se tuvo cuidado de contar oportunamente aquellos perritos ubicados muy próximos a la línea central de cada transecto. Dichos transectos utilizados para el conteo de individuos tuvieron el mismo número de muestra al igual que las parcelas de un  $1 \text{ m}^2$  utilizadas para evaluar la cobertura de suelo ( $n=50$ ), y estos se ubicaron de manera aleatoria. El diseño y la ubicación de los transectos y las parcelas se realizó utilizando la extensión HawthTools (<http://www.spataleecology.com/htools/overview.php>), la cual ubica geográficamente los vectores dentro de las colonias, de forma totalmente aleatoria. Cuando el área ocupada por la colonia fue menor a 4 ha, la longitud del transecto se ajustó proporcionalmente a su tamaño. La densidad de perritos (Número de perritos  $\text{ha}^{-1}$ ) se estimó con el programa Distance v.6.2.

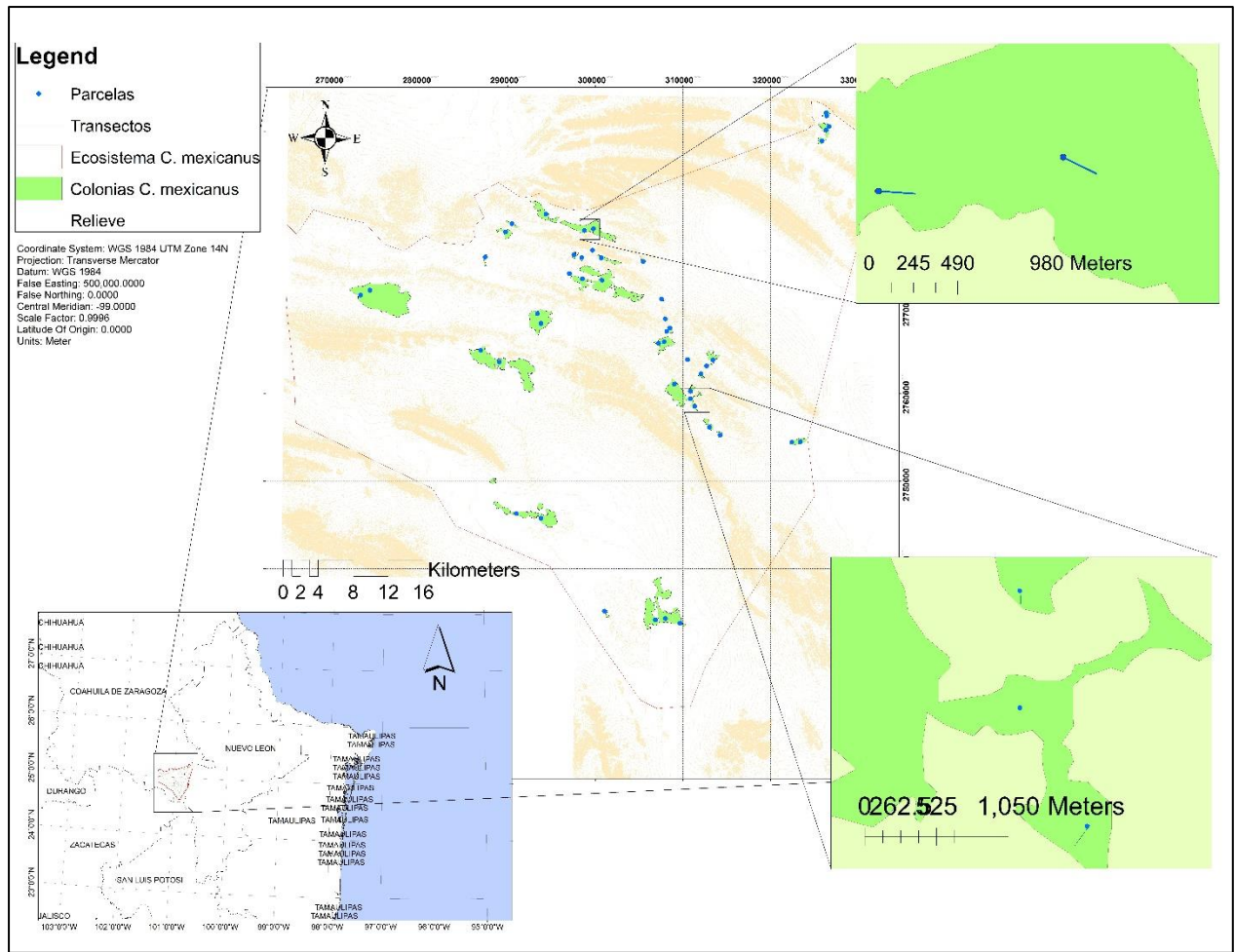


Figura 1.1 Ubicación de las colonias de *C. mexicanus*, las parcelas y transectos utilizados en el presente estudio en Coahuila, México.

#### 1.4.5 Densidad de perritos y variables del hábitat

La relación entre la densidad de perritos (variable dependiente) y las variables del hábitat (variables independientes) se cuantificó a través de un modelo generalizado mediante una regresión Poisson (Cleophas y Zwinderman, 2012). En este proceso, las variables que mejor se relacionaron con la densidad de perritos, se identificaron mediante una discriminación de variables a través del método Forward utilizando el programa R v3.3.1 (Fox, 2007); asimismo, para determinar diferencias entre las variables ambientales de las colonias, se utilizó una prueba de Kruskal-Wallis ( $\alpha < 0.05$ ).

#### 1.4.6 Interacción y conectividad de las colonias de perritos

La interacción entre colonias se determinó mediante los índices de interacción ( $l_j$ ) y aislamiento ( $r_j$ ) con las formulas siguientes (Treviño-Villareal and Grant, 1998):

$$l_j = \sum_{j=1}^{j=n} \frac{A_j}{d_{ij}^2}$$

$$r_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} d_{ij}$$

Donde  $l_j$  es el índice de interacción de la  $j$ -ésima colonia con otras colonias;  $A_j$  es el área de la  $j$ -ésima colonia y  $d_{ij}$  es la distancia más cercana de la  $j$ -ésima colonia con la  $i$ -ésima colonia. Los cálculos se realizaron en el programa Microsoft Excel (MSOffice 2013).

La conectividad se determinó a través del índice de probabilidad de conectividad (PC), el cual se define como “la probabilidad de que dos puntos ubicados (individuos) dentro del paisaje (área total dentro y fuera de los parches) ocurran dentro de cualesquiera de los parches (colonias) y exista la mayor probabilidad de interconexión entre ellos ( $p_{ij}$ )” (Pascual-Horta and Saura, 2006; Saura and Pascual-Horta, 2007; Saura and Rubio, 2010).

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j p_{ij}^*}{A_L^2}$$

Donde  $a_i$  corresponde al área de la  $i$ -ésima colonia;  $a_j$  es el área de la  $j$ -ésima colonia;  $p_{ij}^*$  se refiere a la máxima probabilidad del producto de todos los accesos posibles entre colonias.  $A_L$  indica el área total del paisaje (no solo el área total de los parches de hábitats o colonias).

Asimismo, la importancia de cada colonia en relación al paisaje ( $dPC$ ) se calculó con la formula siguiente:

$$dPC_k = \frac{PC - PC_k}{PC} \times 100$$

$PC_k$  = Impacto que esa colonia ocasionaría si es removida ( $k$  se refiere a la colonia que

puede ser removida). La evaluación del índice de conectividad se realizó con el programa Sensinode 2.6 (Saura and Torné, 2009).

Los índices una vez calculados se integraron al mapa de las colonias utilizando ArcGis (ESRI). Para categorizar los valores de cada colonia como VL (Menor importancia); L (Poca importancia); M (Importancia Media); H (Muy Importante); VH (Altamente importante) se utilizó el método de "Natural Break" (Jenks, 1967). Para determinar posibles diferencias significativas entre los índices de interactividad e interconexión entre colonias se realizó un análisis t-Student en R v3.3.1 (Fox, 2007).

## 1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta investigación se identificaron 40 colonias de *C. mexicanus*, estas se ubicaron en 17 ejidos, dos propiedades privadas y una propiedad Federal (Rancho los Ángeles de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro). El ejido con más colonias fue el Cercado y el Rancho los Ángeles, cada uno con seis colonias (Cuadro 1.1). La superficie total actual ocupada por colonias de perrito en Coahuila, México fue de 7 948.55 ha y en 1999 de de 8,200 has (Scott-Morales et al. 2004), lo que representa aproximadamente una reducción del 3 % del área total ocupada por *C. mexicanus* en Coahuila, México.

Sin duda, la reducción constante del área ocupada por las colonias del perrito de las praderas, tiene que ver con la percepción de los habitantes que coexisten con el, pues lo consideran como una amenaza constante para los cultivos que se producen en la región. Otra amenaza lo consituye la creciente actividad caprina, pues se conoce del traslape en sus dietas y consecuentemente una competencia por alimento entre *C. mexicanus* y el ganado caprino (Mellado y Olvera, 2008). Aunque existen algunos esfuerzos para conservar al perrito de las praderas como ProArbol de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y los Programas de Conservación de Especies en Riesgo (PROCER) de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP); los cuales han provisto de fondos federales y de asistencia técnica para la elaboración de proyectos productivos alternativos (SEMARNAT/CONANP, 2007) las comunidades que coexisten con *C. mexicanus*; estas acciones no han sido suficientes para asegurar el mantenimiento a largo plazo de las colonias del perrito de la pradera en el área estudiada. Los ejidos con mayor superficie de perritos fueron La India (1,698.5 ha) y Guadalupe Victoria (1063.4 ha).



La mayor densidad de perritos se encontró en Tanque de Emergencia ( $12.8 \pm 0.6$  perritos  $ha^{-1}$ ) y 5 de mayo ( $11.3 \pm 0.0$  perritos  $ha^{-1}$ ) (Cuadro 1.1). Las densidades de perritos determinadas en este estudio fueron muy similares a las registradas por Yeaton y Flores (2006). Ellos contrastaron un complejo de colonias con buenas condiciones (Rancho los Ángeles en Coahuila, México) y otro con muy bajas densidades, obteniendo como densidad alta  $12.37 \pm 0.8$  y como densidad baja  $3.57 \pm 0.6$ , densidades muy similares a los presentados en el presente trabajo; pero menores a los reportados por Hopson *et al.* (2015) quienes reportaron 14 a 19 individuos  $ha^{-1}$ . Es importante resaltar que los resultados de este estudio se refieren a densidades de perritos activos, esto se refiere a que, los perritos registrados corresponden a perritos que desarrollaban alguna actividad como comer, alertar o vigilar, mientras que otros estudios registran densidades de hasta 120 perritos  $ha^{-1}$  (Jhonson y Collinge, 2004), sin embargo, para este registro se realizó un conteo continuo por lo que se puede sobrestimar la población. En comparativa es necesario definir un muestreo que no sobrestime ni subestime estos datos de densidad.

Cuadro 1.1 Tipo de propiedad, número de colonias y densidad de perrito llanero (*C. mexicanus*) en Coahuila, México.

Localidad (Ejido)	Número de Colonias	Área ocupada por colonias (ha)	Densidad y D. estándar <sup>a</sup>
5 de Mayo (P)	1	18.2	$11.3 \pm 0.0$
Ángeles (F)	6	757.1	$7.9 \pm 3.6$
Artesillas	3	190.7	$8.0 \pm 1.6$
Carneros	2	130.4	$10.7 \pm 2.4$
Cercado	6	120.4	$8.6 \pm 4.3$
El Papalote (P)	1	480.9	$9.7 \pm 2.1$
Enc. Gúzman	1	516.6	$5.4 \pm 0.5$
Guadalupe Victoria	2	1063.4	$10.8 \pm 0.8$
La Esperanza	3	82.6	$10.7 \pm 0.7$
La India	1	1698.5	$10.8 \pm 5.7$
La Purísima	1	23.6	$7.0 \pm 0.0$
Las Hormigas	3	141.6	$9.9 \pm 1.0$

Nuevo Gómez	1	38.9	5.4 ± 0.5
Profesor Roberto			
Barrios	2	495.8	7.9 ± 2.3
Rufina	1	2.5	
San José del Alamito	1	84.5	8.9 ± 0.6
San Juan del Retiro	1	31.5	6.0 ± 0.0
San Miguel	1	205.1	9.9 ± 2.9
Tanque de			
Emergencia	1	926.1	12.8 ± 0.6
Ventura	2	940.1	4.0 ± 1.5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>7948.5</b>	<b>8.7 ± 3.3</b>

<sup>a</sup> Densidad de *Cynomys mexicanus* y su desviación estándar; P= Propiedad privada y F=Propiedad Federal

Para estimar de forma más precisa el tamaño poblacional de *C. mexicanus*, es necesario definir y utilizar una técnica de monitoreo única. En esta investigación se identificó una menor variación de densidad en las colonias localizadas en propiedades privadas comparada con la registrada en terrenos federales y ejidos, además la densidad de perritos, en general fue mayor en las propiedades privadas. Al respecto se ha determinado que comúnmente en las propiedades privadas, los recursos naturales se conservan de forma más responsable (Smith, 1981; Jansujwicz y Calhoun, 2010). Para proveer mejores condiciones ambientales y mantener las colonias de *C. mexicanus* en la propiedad ejidal, se requieren esfuerzos complementarios de conservación como una divulgación mayor, proyectos de educación ambiental de largo plazo para los ejidatarios, además de establecer alianzas interinstitucional que permita de manera técnica generar un mejor manejo de la especie y sus hábitats a largo plazo.

### 1.5.1 Relación de las variables del hábitat y densidad de perritos

El modelo que explicó mejor la relación entre las variables del hábitat y densidad de perritos determinó que las variables con mayor significancia fueron Vegetación Viva ( $p < 0.01$ ) y Vegetación Seca ( $p = 0.0525$ ) (Cuadro 1.2). Sin embargo, no existieron diferencias estadísticamente significativas de las variables del hábitat entre ejidos ( $p = 0.1027$ ).

Cuadro 1.2. Resultados de regresión Poisson aplicada a las variables del hábitat de *Cynomys mexicanus* en Coahuila, México.

Coefficients:				
	Estimador	Error estándar	Valor de Z	Probabilidad
(Intercepto)	1.5938	0.1612	9.887	< 2e-16
VegS <sup>a</sup>	0.5292	0.2729	1.939	0.0525
VegV <sup>b</sup>	1.0825	0.2700	4.009	6.1e-05

<sup>a</sup> Vegetación Seca. <sup>b</sup> Vegetación Viva

Algunos autores como Yeaton y Flores (2006), Mellado et al. (2005), Mellado y Olvera (2008) y Hopson et al. (2015), mencionan que el perrito de la pradera es muy selectivo en su alimento, por lo que, el consumo y el aporte nutricional de las gramíneas (principal componente de la dieta) son importantes, sobre todo en la época de desarrollo de los juveniles (Mellink y Madrigal, 1993). Por ello, el papel ecológico que esta especie desempeña controlando la altura de pastos es fundamental, pues las gramíneas requieren del ramoneo, lo que permite que las áreas que colonizan, tengan mejores condiciones de cobertura del suelo (Sierra-Corona et al. 2015). Aunque el pastoreo por ganado doméstico puede ser una herramienta de manejo del hábitat del perrito, es recomendable que las áreas de distribución del perrito se excluyan al pastoreo durante la época reproductiva de esta especie y pastorearlas cuando así se requiera, pues ésta especie ha coexistido y se ha desarrollado evolutivamente con otras especies de herbívoros como el bisonte (*Bison bison*) (Coppock et al., 1983b). El pastoreo que realiza este herbívoro permite la poda de especies de pasto alto, mejorando a la vez las condiciones de visibilidad del perrito de las praderas y aunque el bisonte es una especie extirpada en Coahuila, México, su rol ecológico puede sustituirse con el del ganado bovino (Allred et al., 2011; Kohl et al., 2013). No obstante, una de las políticas actuales para manejar las colonias del perrito en el área de estudio es la de no permitir el pastoreo por ganado vacuno en las áreas de distribución de *C. mexicanus*.

*C. mexicanus*, por su forma de alimentación, favorece la diversidad de especies a nivel de paisaje (diversidad beta) (Royo-Márquez y Baéz-González, 2012); asimismo controla las especies más palatables (Sierra-Corona et al. 2015). Se ha determinado que el tipo de suelo y la presencia de ciertas especies vegetales determinan la existencia y abundancia de perrito llanero; por ello, el objetivo del manejo del ecosistema del perrito debe ser el de proveer mayor disponibilidad de pastos y herbáceas perenes (vegetación viva).

### 1.5.2 Índice de Interacción

El valor promedio de aislamiento fue de  $8.22 \pm 18.85$  y el de interacción entre colonias de  $95.49 \pm 403.46$ . Las colonias con mayor interacción fueron las de los ejidos Tanque de Emergencia y La Ventura A y B (Cuadro 1.3; Figura 1.2).

Cuadro 1.3. Índices de interacción según el modelo propuesto por Treviño-Villareal y Grant (1998) aplicado a las colonias de *C. mexicanus* en Coahuila, México.

ID	Colonia	Lj	Rj	ai
1	Encarnación Guzmán	34.266	1.941	3.883
2	Nuevo Gómez	2.577	3.883	3.883
3	Ventura B	263.158	1.130	1.130
4	Ventura A	473.148	1.130	1.130
5	Venado B	2.366	0.788	3.941
6	Venado A	29.547	0.657	3.941
7	Tanque de Emergencia/Cercado	2526.191	0.076	0.605
8	El Papalote	0.465	32.172	32.172
9	Rufina	0.740	0.367	1.837
10	San José	0.014	78.894	78.894
11	San Miguel	9.976	1.134	4.534
12	Puyas C	1.836	1.104	3.311
13	Puyas B	26.490	0.253	1.014
14	Puyas A	34.275	0.338	1.014
15	La India	0.261	80.669	80.669

16 Hormigas C	0.550	1.580	6.319
17 Hormigas B	0.046	2.817	16.900
18 Hormigas A	2.667	1.580	6.319
19 Guadalupe Victoria B	120.026	2.107	2.107
20 Guadalupe Victoria A	119.480	1.054	2.107
21 Cercado F	0.033	10.933	21.866
22 Cercado E	0.599	0.a	2.277
23 Cercado D	3.933	0.455	2.277
24 Cercado C	0.039	1.524	9.142
25 Cercado B	0.421	0.459	1.837
26 Carneros B	1.102	2.757	5.513
27 Carneros A	3.188	2.757	5.513
28 San Juan del Retiro	0.088	18.944	18.944
29 Artesillas C	21.424	0.714	1.429
30 Artesillas B	52.332	0.714	1.429
31 Artesillas A	0.685	3.828	7.656
32 Ángeles F	0.196	1.210	6.049
33 Ángeles D	1.487	0.551	3.308
34 Ángeles C	2.495	0.551	3.308
35 Ángeles B	41.241	0.483	3.384
36 Ángeles A	19.785	1.692	3.384
37 Ángeles E	20.453	0.202	0.605
38 Colonias/5Mayo	0.023	27.872	27.872
39 Ángeles/Cercado	2.088	1.008	6.049
40 Purísima	0.016	38.089	38.089
TOTALES	3819.71±398.4	328.99±18.61	425.65±18.11

lj = interacción; rj = aislamiento; ai = conexión con otras colonias

Se determinaron dos índices de importancia de cada colonia de *C. mexicanus* en Coahuila, México, los cuales permiten analizar de forma visual el impacto que puede generar cada una de ellas en el paisaje; sin embargo, CONEFOR Sensinode 2.6 (Saura y Torné; 2009), presentó diferencias entre los resultados del modelo aritmético de

Treviño-Villareal y Grant (1998). Sensinode ha sido utilizado en México para determinar el impacto potencial que puede tener una conectividad entre parches para la biodiversidad en México (Ramírez-Reyes et al. 2016; Ayram et al. 2017), sobre todo para el perrito de la pradera que es una especie muy dinámica en vida libre (Garrett and Franklin, 1988). A pesar de contar con el valor del flujo de individuos, así como la importancia de cada colonia en términos de conectividad en el paisaje, es necesario determinar las mejores rutas o corredores entre colonias mediante redes de flujo (Uy and Nakagoshi, 2008; Hong et al. 2013).

### 1.5.3 Índice de conectividad

El índice de probabilidad de conectividad indicó una conectividad a nivel de paisaje de  $PC = 0.0001$ ; la conectividad entre colonias fue de  $EC [PC] = 2710$  indicando un efecto positivo en el flujo de individuos entre colonias ( $F = 44.1498$ ). De acuerdo con los valores en el  $dPC$  (diferencial del valor de probabilidad de conectividad), se identificaron las colonias con mayor importancia, a las cuales, según el método de Natural Brake, se categorizaron como VH (altamente importante) y H (muy importante) (Cuadro 1.4). Se aprecian dos colonias con el grado de importancia mayor (VH) y cinco como muy importantes (H) (Figura 1.2).

Cuadro 1.4. Índices de conectividad aplicado a las colonias de *C. mexicanus* en Coahuila, México de acuerdo al modelo propuesto por Pascual-Horta y Saura (2006).

ID	Colonia	Da	dF	dPC
1	Encarnación Guzmán	6.500	3.996	4.100
2	Nuevo Gómez	0.489	3.184	0.409
3	Ventura B	4.227	4.088	6.522
4	Ventura A	7.600	4.088	9.951
5	Venado B	0.462	5.805	0.396
6	Venado A	5.775	7.891	3.985
7	Tanque de Emergencia/Cercado	11.651	13.121	14.964
8	El Papalote	6.050	0.244	3.832
9	Rufina	0.031	5.716	0.015
10	San José	1.063	0.000	0.097

11	San Miguel	2.580	7.720	0.934
12	Puyas C	0.253	5.030	0.094
13	Puyas B	0.343	7.300	0.274
14	Puyas A	0.443	8.214	0.246
15	La India	21.369	0.000	39.255
16	Hormigas C	0.276	6.207	0.244
17	Hormigas B	0.165	3.715	0.067
18	Hormigas A	1.340	4.332	0.452
19	Guadalupe Victoria B	6.705	3.741	10.530
20	Guadalupe Victoria A	6.674	3.986	10.869
21	Cercado F	0.199	0.855	0.052
22	Cercado E	0.039	8.358	0.015
23	Cercado D	0.257	9.448	0.117
24	Cercado C	0.041	5.819	0.018
25	Cercado B	0.018	5.464	0.017
26	Carneros B	0.421	3.208	0.237
27	Carneros A	1.219	3.107	0.293
28	San Juan del Retiro	0.397	0.811	0.097
29	Artesillas C	0.550	4.549	0.159
30	Artesillas B	1.344	6.240	0.340
31	Artesillas A	0.505	2.831	0.101
32	Ángeles F	0.090	7.700	0.097
33	Ángeles D	0.205	9.973	0.355
34	Ángeles C	0.344	8.258	0.380
35	Ángeles B	5.942	6.684	7.064
36	Ángeles A	2.850	3.793	3.472
37	Ángeles E	0.094	6.114	0.203
38	Colonias/5Mayo	0.229	0.361	0.011
39	Ángeles/Cercado	0.961	8.048	1.894
40	Purísima	0.297	0.000	0.008

dA = importancia del área; dF = importancia de Flujo; dPC = importancia de conectividad.

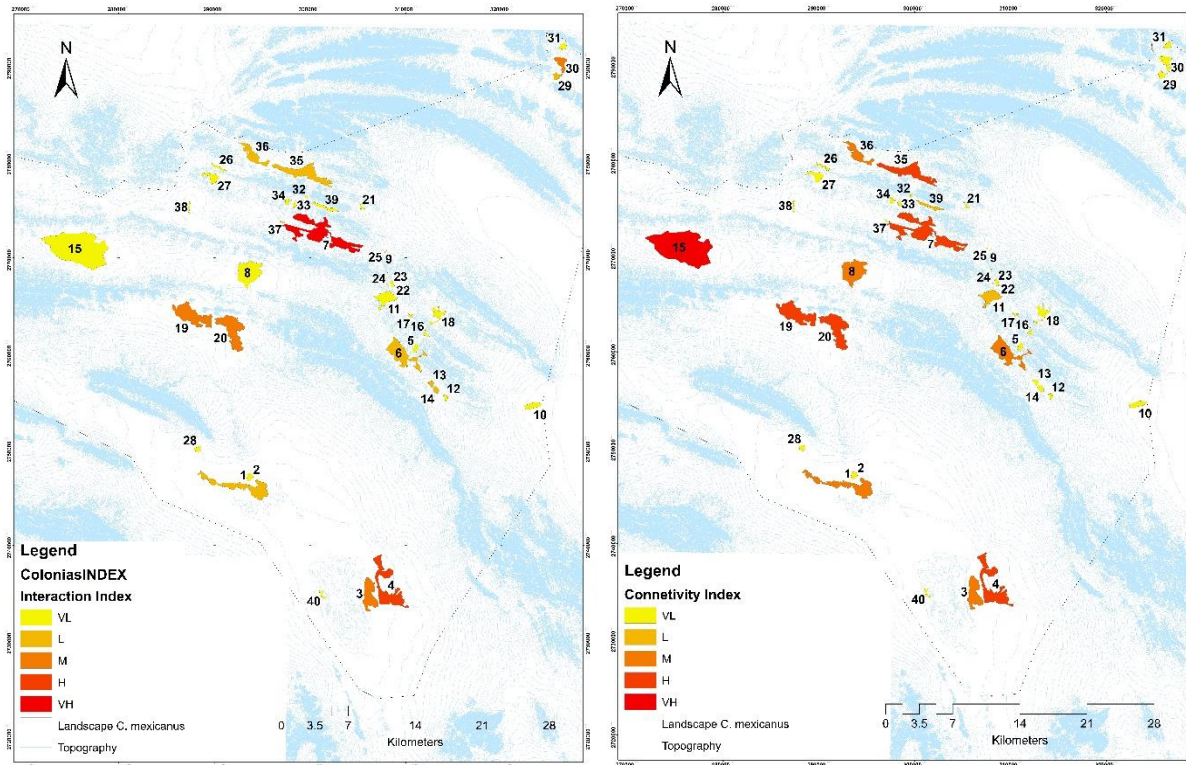


Figura 1.2. Índice de interacción [izquierda] y conectividad [derecha] en las colonias de *C. mexicanus* en Coahuila, México.

No se encontraron diferencias significativas ( $p = 0.2505$ ) para el índice de interacción entre colonias a diferencia en el índice de conectividad entre colonias de *C. mexicanus* en Coahuila, México el cual resultó estadísticamente diferente ( $p = 5.874e^{-9}$ ).

## 1.6 CONCLUSIÓN

De acuerdo a nuestros resultados, el área ocupada por el perrito de las praderas continúa decreciendo. Asimismo, la densidad de perritos en el área de estudio comparada con la citada en otros estudios de *Cynomys* fue baja. A pesar de que no existieron diferencias estadísticas entre las variables del hábitat por colonia, se logró identificar que la variable que mejor explica la abundancia de perrito llanero es la vegetación viva (pastos y herbáceas perennes). No se encontraron diferencias en el índice de interacción entre colonias pero si en el índice de conectividad. Los modelos utilizados identificaron las colonias con alto grado de importancia en la conectividad como lo es la colonia Tanque de Emergencia, la cual se identificó como Muy Importante. Ésta colonia podría ser considerada como una población fuente que genere el mayor flujo de individuos entre



colonias; sin embargo, para generar corredores entre colonias y coadyuvar de mejor manera con la conservación de *C. mexicanus*, se requiere el uso de otros métodos como el redes de enlace.

## 1.7 LITERATURA

- Ayram CAC, Mendoza ME, Etter A, Salicrup DRP (2017) Anthropogenic impact on habitat connectivity: a multidimensional human footprint index evaluated in a highly biodiverse landscape of Mexico. *Ecological Indicators* 72:895-909.
- Allred, B. W., Fuhlendorf, S. D., & Hamilton, R. G. (2011). The role of herbivores in Great Plains conservation: comparative ecology of bison and cattle. *Ecosphere*, 2(3), 1-17.
- Bravo VMG, Mireles MC, Zúñiga MJ, Carreón HE (2015) Composición y amplitud de la dieta del águila real en Chihuahua, México. *Acta zoológica mexicana* 31(1): 116-119
- Castellanos-Morales G, Gutiérrez-Guerrero YT, Gámez N, Eguiarte LE (2016) Use of molecular and environmental analyses for integrated in situ and ex situ conservation: The case of the Mexican prairie dog. *Biological Conservation* 204: 284-295.
- Ceballos G, Wilson DE (1985) *Cynomys mexicanus*. *Mammalian Species* 248:1-3.
- Ceballos G, Navarro D (1991) Diversity and conservation of Mexican mammals. Mares, MA y DJ Schmidly, Latin American Mammalogy: history, diversity and conservation. Univ. of Oklahoma Press. (Diversidad y conservación de mamíferos mexicanos, en: *Mastozoología latinoamericana: historia, diversidad y conservación*), 167-198.
- Ceballos G, Mellink E, Hanebury LR (1993) Distribution and conservation status of prairie dogs *Cynomys mexicanus* and *Cynomys ludovicianus* in Mexico. *Biological Conservation* 63(2): 105-112.
- Cleophas TJ, Zwinderman AH (2012) Poisson Regression. In: Statistics Applied to Clinical Studies. Springer, Dordrecht.
- Coppock DL, Detling JK, Ellis JE, Dyer MI (1983a) Plantherbivore interactions in a North American mixedprairie. Effects of black-tailed prairie dogs in intraseasonal aboveground plant biomass and nutrient dynamics on plant species diversity. *Oecologia* 56(1):1-9.
- Coppock DL, Ellis JE, Detling J K, & Dyer MI (1983b). Plant-herbivore interactions in a North American mixed-grass prairie. II. Responses of bison to modification of vegetation by prairie dogs. *Oecologia*, 10-15.
- Enciclopedia de los municipios y las delegaciones de México. Arteaga, Coahuila de Zaragoza.

<http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM05coahuila/municipios/05004a.html>.  
Consultado el 15 de mayo de 2018.

Enciclopedia de los municipios y las delegaciones de México. Saltillo, Coahuila de Zaragoza.  
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM05coahuila/municipios/05030a.html>.  
Consultado el 15 de mayo de 2018.

Estrada-Castrillón 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(2): 401-416.

Estrada-Castrillón, E, Arévalo JR, Quintanilla JÁV, Rodríguez MMS, Encina-Domínguez JA, Rodríguez HG, Ayala CMC (2015) Classification and ordination of main plant communities along an altitudinal gradient in the arid and temperate climates of northeastern Mexico. *The Science of Nature* 102(9-10), 59.

Fox J (2007) Extending the R Commander by "plug in" packages. *R News* 7(3): 46–52.

Gallina TS, González CL (2011) *Manual de Técnicas para el estudio de la Fauna*. Universidad Autónoma de Querétaro. México.

Garrett MG, Franklin WL (1988) Behavioral ecology of dispersal in the black-tailed prairie dog. *Journal of Mammalogy* 69(2): 236-250.

Goguen CB (2012) Comparison of bird and mammal communities on black-tailed prairie dog (*Cynomys ludovicianus*) colonies and uncolonized shortgrass prairie in New Mexico. *Journal of arid environments* 80: 27-34.

Hong SH, Han BH, Choi SH, Sung CY, Lee KJ (2013) Planning an ecological network using the predicted movement paths of urban birds. *Landscape and ecological engineering* 9(1): 165-174.

Hoogland J L (2003) Black-tailed prairie dog (*Cynomys ludovicianus* and Allies). Rodents. Wild Mammals of North America. Biology, Management, and Conservation. Second Edition. The Johns Hopkins University Press.

Hopson R, Meiman P, Shannon G (2015) Rangeland dynamics: investigating vegetation composition and structure of urban and exurban prairie dog habitat. *PeerJ* 3: 736.

Jansujwicz, J. S., & Calhoun, A. J. (2010). Protecting natural resources on private lands: the role of collaboration in land-use planning. In *Landscape-scale conservation planning* (pp. 205-233). Springer, Dordrecht.

Jenks GF (1967) "The Data Model Concept in Statistical Mapping", *International Yearbook of Cartography* 7: 186–190.

- Johnson WC, Collinge SK (2004) Landscape effects on black-tailed prairie dog colonies. *Biological Conservation*, 115(3), 487-497.
- Kohl MT, Krausman, PR, Kunkel, K. Williams, DM (2013). Bison versus cattle: are they ecologically synonymous?. *Rangeland Ecology and Management*, 66(6), 721-731.
- Kotliar NB, Baker BW, Whicker A D, Plumb G (1999) A critical review of assumptions about the prairie dog as a keystone species. *Environmental management* 24(2): 177-192.
- Mellado M, Olvera A, Quero A, Mendoza G (2005) Dietary overlap between prairie dog (*Cynomys mexicanus*) and beef cattle in a desert rangeland of northern Mexico. *Journal of arid environments* 62(3): 449-458.
- Mellado M, Olvera A (2008) Diets of prairie dogs (*Cynomys mexicanus*) co-existing with cattle or goats. *Mammalian Biology-Zeitschrift für Säugetierkunde* 73(1): 33-39.
- Miller B, Ceballos G, Reading R (1994) The prairie dog and biotic diversity. *Conservation biology* 8(3): 677-681.
- MSSOffice 2013.
- Pando-Moreno 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.
- Pascual-Hortal L, S Saura (2006) Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology* 21 (7): 959-967.
- Power ME, Tilman D, Estes JA, Menge BA, Bond WJ, Mills SL, Daily G, Castilla JC, Lubchenco J, Paine RT (1996) Challenges in the Quest for Keystones. *BioScience* 46 (8): 609-20. doi:10.2307/1312990.
- Ramírez-Reyes C, Bateman BL, Radeloff VC (2016) Effects of habitat suitability and minimum patch size thresholds on the assessment of landscape connectivity for jaguars in the Sierra Gorda, Mexico. *Biological Conservation*, 204, 296-305.
- Royo-Márquez MH, Báez-González AD (2012) Descripción del hábitat de áreas colonizadas y sin colonizar por perrito llanero (*Cynomys ludovicianus*) en el noroeste de Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 39(2).
- Rueden CT, Schindelin J, Hiner MC, DeZonia BE, Walter AE, Arena ET, Eliceiri KW (2017) ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data. *BMC Bioinformatics* 18:529. doi:10.1186/s12859-017-1934-z.
- Saura S, Pascual-Hortal L (2007) A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning* 83 (2-3): 91-103.

- Saura S, Torné J (2009) Conefor Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modelling and Software* 24: 135-139.
- Saura S, L Rubio. 2010. A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography* 33: 523-537.
- 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.
- Scott-Morales L, Necedal J, Cotera M, Canales-Delgadillo J (2008) Worthen's sparrow (*Spizella wortheni*) in the northern Mexican Plateau. *The Southwestern Naturalist*, 53(1): 91-95.
- SEMARNAT/CONANP. 2007. Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2007-2012. México, D. F.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). 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 de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Diario Oficial*.
- Sierra–Corona R, Davidson A, Fredrickson EL, Luna-Soria H, Suzan-Azpiri H, Ponce-Guevara E, Ceballos G (2015). Black-tailed prairie dogs, cattle, and the conservation of North America's arid grasslands. *PLoS One* 10(3): e0118602.
- Smith, R. J. (1981). Resolving the tragedy of the commons by creating private property rights in wildlife. *Cato J.*, 1, 439.
- Summers CA, Linder RL (1978) Food habits of the black-tailed prairie dog in Western South Dakota. *J Range Manage* 31:134-136.
- Treviño-Villarreal J, Grant WE (1998) Geographic range of the endangered Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*). *Journal of Mammalogy* 79(4): 1273-1287.
- International Union for the Conservation of the Nature (IUCN) (2017) The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-3.
- Uy PD, Nakagoshi N (2008) Application of land suitability analysis and landscape ecology to urban greenspace planning in Hanoi, Vietnam. *Urban Forestry and Urban Greening* 7(1): 25-40.

Yeaton RI, Flores-Flores JL (2006) Patterns of occurrence and abundance in colony complexes of the Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*) in productive and unproductive grasslands. *Acta zoológica mexicana* 22(3): 107-130.

## CAPITULO 2. DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA DEL PERRITO DE LAS PRADERAS (*Cynomys mexicanus*) EN COAHUILA, MÉXICO

### 2.1 RESUMEN

El endemismo y la vulnerabilidad por actividades antropogénicas son las principales causas de la reducción de fauna silvestre, listando así a especies en categorías de riesgo. Entre estas especies, se encuentra el perrito de las praderas (*C. mexicanus*), el cual ha perdido aproximadamente del 62 al 74 % de su distribución. Por lo que existe una problemática latente relacionada por endogamia, deriva genética y reducción de su poza génica. De esta manera, los objetivos del estudio fueron determinar la diversidad genética y la estructura genética con el análisis filogeográfico en poblaciones de *C. mexicanus*, para proponer estrategias de conservación y recomendaciones que permitan la viabilidad de la especie en el Estado de Coahuila, México. Se colectaron 22 muestras de sangre en tarjetas Whatman. La extracción de DNA se realizó mediante lavados utilizando FTA Reagent y su amplificación por Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) en 600 bp en el *cyt b* del mtDNA. Posteriormente, se realizó la secuenciación de los amplicones y las secuencias fueron analizadas en DNASp6, Arlequín y MEGA 7 para determinar la diversidad genética y su estructura genética en Coahuila. Se registraron un total de 40 colonias en 20 ejidos, en las cuales se lograron extraer 22 muestras de *C. mexicanus*. Se amplificaron estas muestras a 600 bp. Se registraron 157 sitios segregados, se encontraron diferencias significativas ( $p = 0.045$ ) en la prueba de Varianza Molecular; 22 haplotipos fueron encontrados, la varianza de  $k$  observada (456.7696) sobresale de la esperada (231.468). La prueba de Tajima's  $D$  evidenció un resultado negativo (-1.39618), muy relacionado con la selección de alelos deletéreos o raros, resultado explicado por la relación de Diversidad de  $\Pi <$  Diversidad de  $\delta$ . Se generó el árbol filogenético, con una distancia euclidiana promedio de  $DEU = 0.60$  e indicó que entre clados no existe cierta relación entre la distancia lineal con la distancia genética, por lo que se infiere que en algunos casos las colonias cercanas podrían compartir el mismo clado o clados distintos. Se propone sumar importancia a la colonia grande que presenta un muy bien estado de conservación.

**Palabras clave:** mtDNA; endemismo, endogamia, poza génica, población fuente, población sumidero.

## 2.2 ABSTRACT

Endemicity and vulnerability due to anthropogenic activities are the main causes of the reduction of wildlife, thus listing the categories in the risk categories. Among these species is the prairie dog (*Cynomys mexicanus*), which has lost approximately 62 to 74% of its distribution. Therefore, there is a latent problem related to inbreeding, genetic derivation and reduction of genetic pool. In this way, the objectives of the study were determined genetic diversity and genetic structure with phylogenetic analysis in populations of *C. mexicanus*, to propose conservation strategies and recommendations to allow the viability of the species in the State of Coahuila, Mexico. 22 blood samples were collected on Whatman card. DNA extraction was performed by washes using FTA Reagent and its amplification by Polymerase Chain Reaction (PCR) in 600 bp in the cyt b on mtDNA. Subsequently, the amplicons were sequenced and the sequences analyzed in DNASp 6, Arlequin and MEGA 7 to determine genetic diversity, their genetic structure in Coahuila and propose some conservation strategies. A total of 40 colonies were recorded in 20 ejidos, in which 22 samples of *C. mexicanus* were extracted. These samples were amplified at 600 bp. 157 sites were registered segregated by significant differences ( $p = 0.045$ ) were recorded in the Molecular Variance test. 22 haplotypes were founded, the observed variance of  $k$  (456.7696) exceeds that expected (231.468). Tajima's  $D$  showed a negative result (-1.39618), closely related to the selection of deleterious or rare alleles, a result explained by the  $P_i$  Diversity ratio <Diversity of  $\delta$ . The phylogenetic tree was generated, with an average Euclidean distance of  $DEU = 0.60$ . To be able to structure phylogeography, these phylogenetic tree indicates that between clades, there isn't a certain relationship between linear distance and genetic distance, so we can infer that in some cases nearby colonies could share the same clade or different clades. It is proposed to add importance to the large colony that presents a very good state of conservation.

**Keys words:** mtDNA; endemism, inbreed, genetic pool, source population, sink population.

## 2.3 INTRODUCCIÓN

El endemismo, se refiere a una distribución demasiado restringida, causada por cambios climáticos y orográficos, lo cual ha aislado a especies durante la época del Pleistoceno, reduciendo de forma significativa sus hábitats (Goodwin 1995; Mead *et al.* 2009; Arroyo-Cabrales *et al.* 2010; Castellanos-Morales *et al.* 2016). Además, el incremento de su vulnerabilidad causada por actividades humanas, han diezmando cada vez más su distribución. Dicha problemática he generado una preocupación por determinar el origen, dinámica y evolución de las especies endémicas, con fines de conservación, por ello, investigadores han despertado un interés en la utilización del análisis bioestadístico, específicamente la filogeografía estadística (McCullough y Chesser 1987; Riddle *et al.* 1993; Fernández 2012; Castellanos-Morales *et al.* 2015). Actualmente, el análisis molecular ha permitido generar información para determinar la variabilidad genética, filogeografía, así como la historia evolutiva de las especies de *Sciuridos* (Harrison *et al.*, 2003; Fernández *et al.*, 2012; Castellanos-Morales *et al.*, 2016; Cobble *et al.*, 2016). Un marcador molecular que ha sido utilizado en trabajos de fauna silvestre es el ADN mitocondrial (mtDNA), al ser ADN altamente conservado, el cual posee el gen del citocromo  $\beta$  (*Cyt  $\beta$* ), presente en la respiración celular, con una longitud de más de 600 pb (Chumacero *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2016).

Una especie de fauna silvestre de gran importancia, al ser indexada en listas de especies en Riesgo (NOM-059-SEMARNAT-2010; UICN, 2010), es el perrito de las praderas (*Cynomys spp.*), el cual, tanto en México como en USA ha tenido relevancia en diferentes estudios, sobre todo aquellos en los cuales se han enfocado a su diversidad genética, con la finalidad de evitar que esta especie aumente su vulnerabilidad por fenómenos de cuello de botella, reducción en su poza génica y deriva genética, por motivos de rango distribucional muy restringido y en continuo decrecimiento (Brown *et al.*, 2015; Castellanos-Morales *et al.*, 2014, 2015, 2016; Cobble *et al.*, 2016). A pesar de su importancia, *C. mexicanus* ha sufrido un impacto negativo, pues en los últimos 20 años, esta especie ha perdido entre el 62 y 74 % de su hábitat (Ceballos *et al.* 1993; Treviño-Villarreal y Grant 1998; Scott-Morales *et al.* 2005).

Se presume que *C. mexicanus* no presenta aún problemas por poca diversidad genética pues, se ha encontrado que aún en poblaciones en cautiverio estas mantienen la misma



riqueza génica que sus contrapartes de vida libre (Castellanos-Morales *et al.*, 2016). Por lo tanto, los objetivos de este estudio fueron determinar la variabilidad genética de las colonias y representar la estructura genética utilizando análisis filogeográfico en Coahuila, México.

## **2.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.4.1 Área de estudio**

El estudio se realizó en la zona sur del estado de Coahuila durante febrero a agosto 2017. Se registraron 40 colonias de perrito de las praderas (*C. mexicanus*), ubicadas en los municipios de Saltillo y Arteaga, Coahuila (Figura 2.1). Las coordenadas de ambos municipios se encuentran entre 101° 50 ' a 101 ° 59 ' y 25 ° 25 ' a 25 ° 23'. La altura media es de 1600 a 1650 msnm. Los climas según la clasificación de García y CONABIO (1998), se tiene climas semiáridos hasta templados de alta montaña; la precipitación anual va de los 300 a los 500 mm.

### **2.4.2 Colecta de muestras**

Previo al inicio de la colecta de ejemplares del perrito de la pradera, se tramitó ante la Dirección General de Vida Silvestre, el permiso de colector científico con clave SEMARNAT-08-049 en su modalidad B, el cual se obtuvo con el No. de Oficio SGPA/DGVS/00206/17. Para determinar la estructura y diversidad genética e iniciar con el muestreo, se utilizó la metodología de captura con lazo, descrita por Sacket *et al.* (2012), entre los picos de actividad de la especie (Figura 2.2). Los picos de actividad, son en la mañana al salir el sol y horas antes de ocultarse (Ceballos, 2014).

Se realizó la captura de 22 perritos, a los cuales se les extrajo una muestra de sangre (0.1 mL) de la vena femoral interna (Dyer y Cervasio, 2008) para almacenar en tarjetas Whatman™, FTATM (tecnología para obtener, aislar, transportar y archivar ácidos nucleicos a temperatura ambiente). También se tomaron datos morfológicos como ancho de cráneo (AC), longitud del animal (L), peso (M), estado reproductivo (reproductor o juvenil) y sexo.

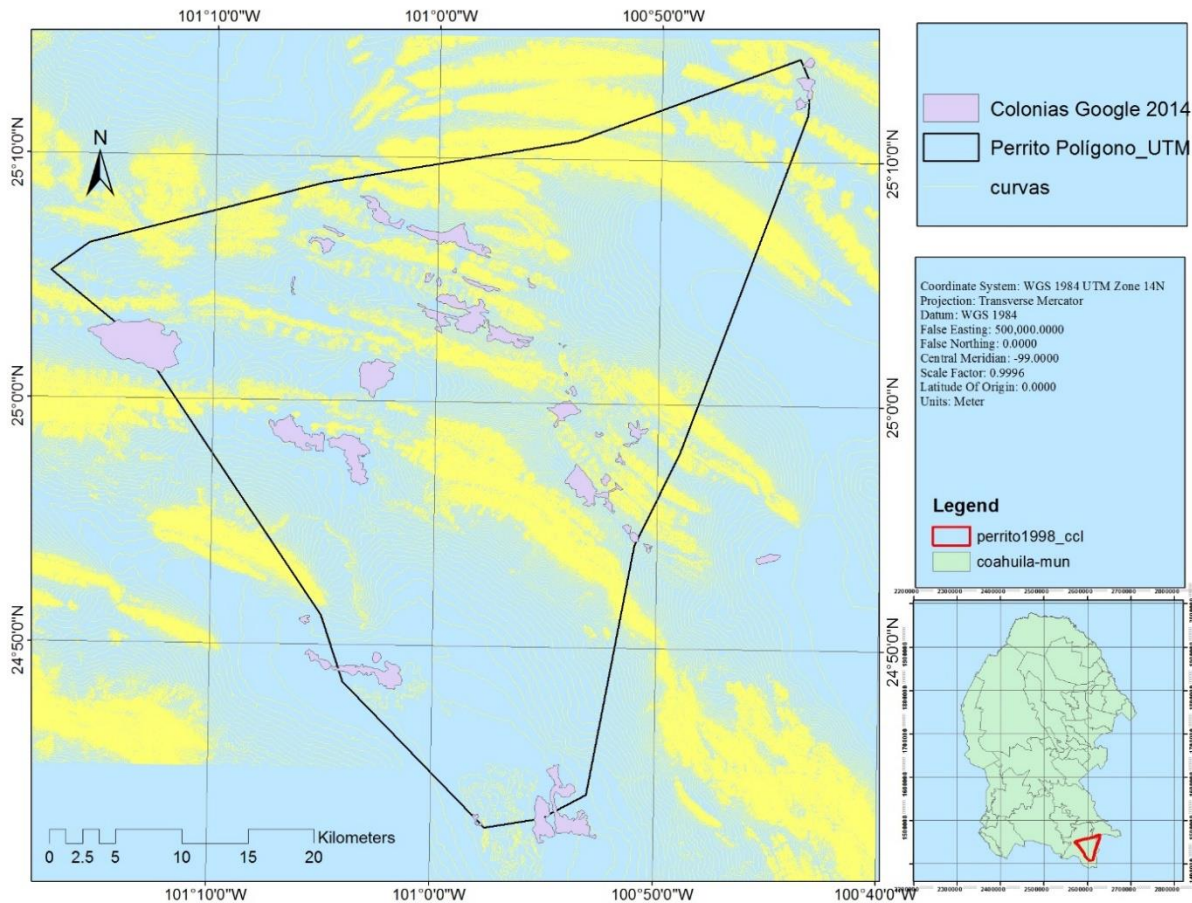


Figura 2.1. Colonias de perrito de las praderas en Coahuila, México.

### 2.4.3 Extracción de DNA y amplificación por Reacción en cadena de la Polimerasa (PCR)

La extracción de ADN se realizó mediante lavados con reactivo FTA para las tarjetas Whatman FTA. La región del citocromo b (*Cyt b*) fue amplificada usando PCR, con los primers diseñados en la herramienta de PrimerBlast del Centro Nacional para la Información Biotecnológica (NCBI; por sus siglas en inglés), Forward: 5'- CCT AGC CAT CCA AAT CCT CA -3' y Reverse: 5'- TGC GGG TGT ATA GTT GTC GG -3', utilizando como referencia secuencias de Castellanos Morales *et al.* (2016), los cuales fueron sintetizados en la Unidad de Síntesis y Secuencia (USS) del Instituto de Biotecnología (IBT) de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM). El programa para la amplificación en el termociclador fue el siguiente: desnaturalización inicial 95 °C durante 3 min y 35 ciclos con desnaturalización a 95 °C durante 1 min; el alineamiento a 64 °C durante 2 min; la extensión a 72 °C durante 2 min, con una extensión final a 72 °C durante

10 min. El DNA amplificado se cuantificó con un NanoDrop Mod. ND1000. Para comprobar la amplificación de DNA, se realizó la electroforesis en gel de agarosa al 1.5 % teñidos con RedGel. Y los productos amplificados por PCR fueron secuenciados en la empresa Macrogen Korea, en Beotkkot-ro, Geumcheon-gu, Seoul 08511, Republic of Korean.

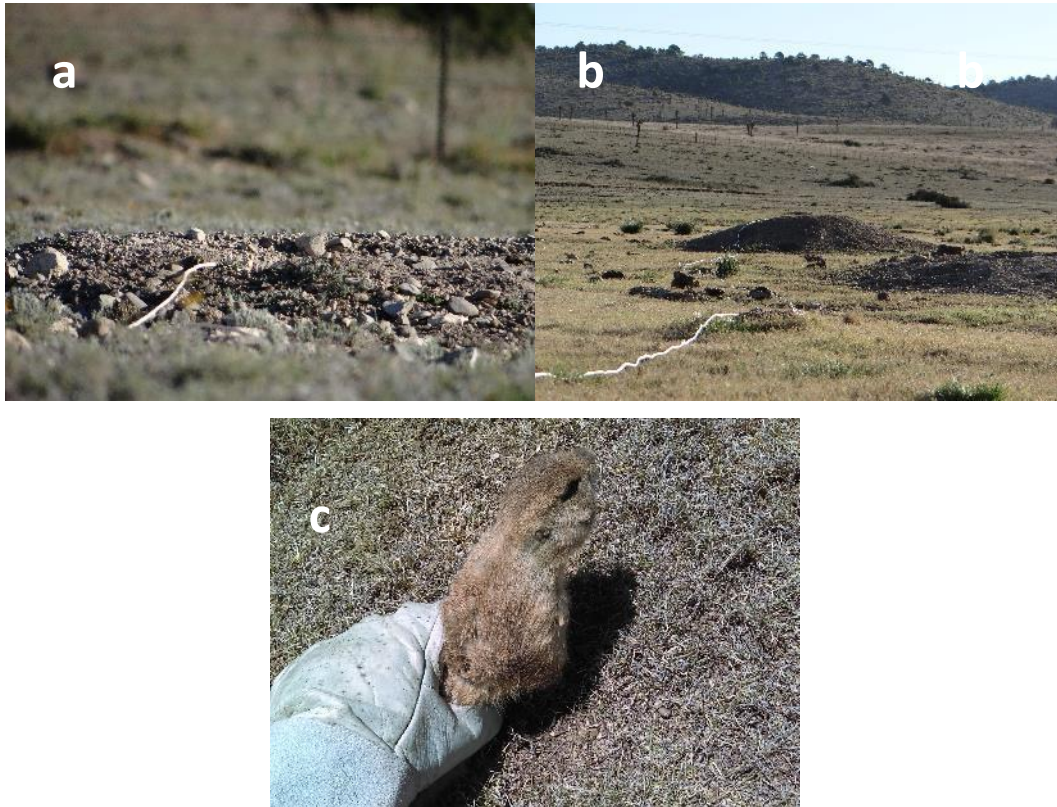


Figura 2.2 Lazos ubicados en los pozos o entradas de madrigueras de *C. mexicanus* (a y b) y la contención de un individuo de *C. mexicanus* (c).

#### 2.4.4 Diversidad y estructura genética

Para determinar la diversidad genética de *C. mexicanus*, las secuencias obtenidas fueron editadas y alineadas en el programa bioestadístico MEGA 7. Las secuencias editadas, se alinearon con el subprograma Muscle de MEGA 7.0.21 (Kumar *et al.*, 2015). Para utilizar como referencia un grupo externo, se realizó un BLAST en Centro Nacional para la Información Biotecnológica (NCBI; por sus siglas en inglés) para ver la similitud de secuencias con otros individuos de especie distinta. Se calculó el número de sitios

segregados ( $S$ ); número de haplotipos ( $h$ ); diversidad haplotípica ( $Hd$ ) y diversidad nucleótida ( $\pi$ ) para las muestras realizadas. También se realizó una prueba de Tajima con la finalidad de observar la relación entre variables diversidad de  $\pi$  y diversidad de  $\Theta$  y determinar mediante esta prueba, el tipo de selección que se está realizando en los individuos de *C. mexicanus*. Asimismo, se aplicó una prueba de diferencias en la distribución de Parwise (Mismatch) para medir el tamaño poblacional y la diversidad genética observada, utilizando como prueba de Bootstrap las 1 000 interacciones; dichos análisis se realizaron en el programa DnaSP v6 (Felsenstein, 1985; Rozas *et al.*, 2017). De igual forma, se evaluaron las distancias en una matriz de Pairwise utilizando el Software MEGA 7.0.18, con la finalidad de determinar mediante cercanía genética, encontrar que colonias comparten individuos que poseen el mismo origen genético. Se utilizó el programa Arlequin con la prueba de equilibrio de Hardy-Weinberg para determinar diferencias estadísticas mediante una prueba de varianza molecular y determinar si la herencia mendeliana se mantiene en equilibrio, siempre y cuando no interfieran otras fuerzas evolutivas produciendo mutaciones (Crow, 1999). Para determinar la estructura genética con el uso de la filogeografía, se elaboró el árbol filogenético con el programa MEGA 7, usando el método de máximo nivel de Parsimonia bajo el modelo de Jukes-Kantor a 1000 Bootstrap, el cual se ha reportado como un modelo aplicable a las colonias de esta especie (Castellanos-Morales *et al.*, 2015). Para ilustrar el árbol filogenético con sus respectivas ubicaciones geográficas, se utilizó el software ArcMap de ArcGis®, para lo cual se grabaron los puntos de cada captura y se utilizó el sistema de coordenadas de UTM 84 en un GPS marca Garmin Etrex 20®.

## 2.5 RESULTADOS

### 2.5.1. Colonias y medidas morfométricas de los perritos

Se registraron un total de 40 colonias en 20 ejidos, en las cuales se lograron extraer 22 muestras de *C. mexicanus* (Cuadro 2.1). Dentro de las cuales se muestran sus medidas morfométricas (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.1. Muestras extraídas de las colonias de *C. mexicanus* en Coahuila en el año 2017.

Ejido	Municipio	No. Colonias	No. Muestras
-------	-----------	--------------	--------------

Ventura	Saltillo	2	1
Purísima	Saltillo	1	1
San Juan del Retiro	Saltillo	1	1
Encarnación Gúzman	Saltillo	1	0
Nvo.Gómez	Saltillo	1	0
Guadalupe Victoria	Saltillo	2	1
El Papalote	Saltillo	1	2
India/Frayle	Saltillo	1	2
Colonias/5 Mayo	Saltillo	1	1
Carneros	Saltillo	2	0
Rancho Angeles	Saltillo	7	1
Cercado	Saltillo	6	2
Tanq Emergencia	Saltillo	1	1
San Miguel	Saltillo	1	1
Hormigas	Saltillo	3	1
Venado	Saltillo	2	2
Las Puyas	Saltillo	3	1
San Jose Alamito	Saltillo	1	1
Artesillas	Arteaga	2	2

Se logró amplificar las 22 muestras utilizando los cebadores modificados para el presente trabajo. Estos primers lograron amplificar entre 640 pb (Anexo 2).

### 2.5.2 Diversidad genética

Se registraron 157 sitios segregados; el número de haplotipos fue similar al de las muestras colectadas (22); lo que indicaría que cada colonia posee uno o varios haplotipos. La diversidad haplotípica ( $Hd$ ) fue de 0.9998, por lo que, se consideraría como una alta diversidad genética; así como, la diversidad nucleótida  $\pi = 0.05637$  (Cuadro 2.3). La prueba de Mismatch evidenció que la varianza de  $k$  observada (456.7696) sobresale de la esperada (231.468), por lo que *Cynomys mexicanus* ( $R^2 = 0.078$ ;  $\theta = 20.56$ ;  $\tau = 13.16$ ) puede ser una población en equilibrio demográfico.

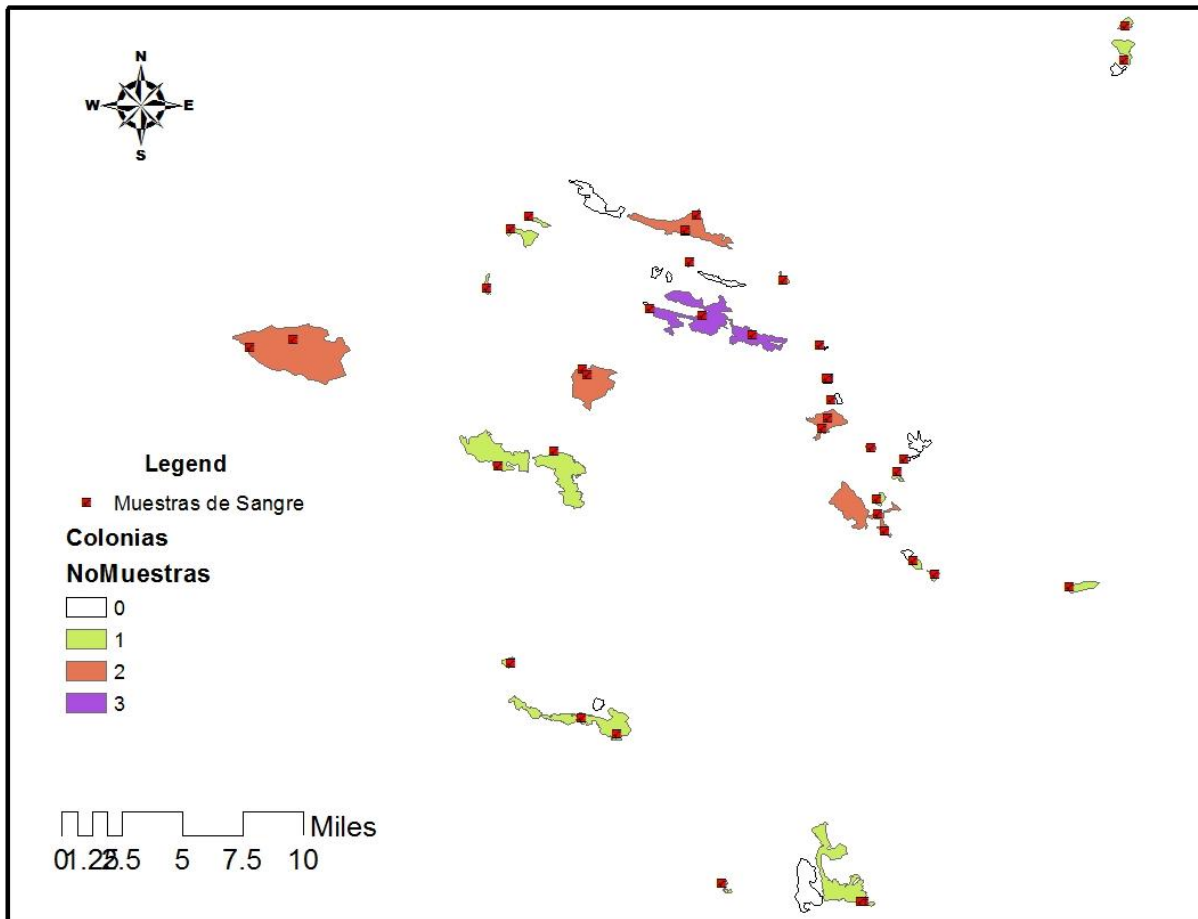


Figura 2.3. Muestras de sangre colectadas de las distintas colonias de *C. mexicanus* en Coahuila en los meses de marzo a julio 2017.

Cuadro 2.2. Promedios y desviación estándar ( $\pm$ ) de las medidas morfométricas de individuos capturados por ejidos en Coahuila, México.

Ejido	L (cm)	AC (cm)	M (gr)
5 de Mayo	29.6 $\pm$ 0.0	4.3 $\pm$ 0.0	1030.0 $\pm$ 0.0
Carneros	25.4 $\pm$ 1.1	4.3 $\pm$ 0.1	965.0 $\pm$ 106.0
Cercado	25.7 $\pm$ 1.4	4.3 $\pm$ 0.2	889.0 $\pm$ 207.9
Encarnación Guzmán	25.3 $\pm$ 0.1	4.3 $\pm$ 0.2	985.0 $\pm$ 162.6
<b>Frayle</b>	<b>30.7<math>\pm</math>0.0</b>	<b>4.5<math>\pm</math>0.0</b>	<b>1230.0<math>\pm</math>0.0</b>
Guadalupe Victoria	26.7 $\pm$ 0.0	4.2 $\pm$ 0.0	875.0 $\pm$ 0.0
Hormigas	26.1 $\pm$ 0.1	4.2 $\pm$ 0.1	872.5 $\pm$ 144.9

La Esperanza	25.8±0.0	4.3±0.0	<b>695.0±0.0</b>
La India	28.5±0.0	4.4±0.0	870.0±0.0
La Purísima	28.0±0.0	4.6±0.0	1050.0±0.0
Rancho Ángeles	26.0±2.0	4.3±0.1	953.7±144.3
<b>San José Alamito</b>	<b>31.2±0.0</b>	<b>4.7±0.0</b>	<b>1270.0±0.0</b>
San Miguel	26.3±0.0	4.5±0.0	845.0±0.0
Tanque Emergencia	24.8±0.6	4.2±0.1	960.0±0.0
Venado	25.9±1.7	4.2±0.1	<b>735.0±190.1</b>
Ventura	25.8±2.3	4.3±0.2	895.0±134.3
Total	26.4±1.9	4.3±0.1	929.3±164.4

\*L: Longitud de trompa a base de cola; AC: Ancho de Cráneo; M: Masa.

Cuadro 2.3 Diversidad genética de perrito de las praderas *C. mexicanus* en Coahuila, México

<b>Especie</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>h</b>	<b>Hd</b>	<b>Π</b>	<b>(AMOVA)</b> <b>p</b>
<i>C. mexicanus</i>	22	157	22	0.999±1.9e <sup>-4</sup>	5.3e <sup>-2</sup> ±6.6e <sup>-5</sup>	0.0455

Se encontraron diferencias significativas ( $p = 0.045$ ) en la prueba de Varianza Molecular, por lo tanto, no se rechaza hipótesis alterna y podríamos mencionar que existe diversidad molecular en al menos una de las muestras de *C. mexicanus*. Los valores promedio registrados para el caso de sitios segregados (157) y diversidad haplotípica (*Hd*), exceden un poco a los reportados para esta y otras especies de *Sciuridos* (Liu *et al.*, 2014; Castellanos-Morales *et al.*, 2014), sin embargo, esto puede deberse a que los individuos de nuestro estudio pertenecen a colonias lejanas y no a individuos de la misma colonia. Los resultados de este estudio muestran que existe una alta diversidad nucleótida y haplotípica; sin embargo, se ha determinado en la actualidad que existen especies conocidas por ser presentar una alta tasa de mutación en el ADNmt (Galtier *et al.*, 2006), esta podría ser la explicación por la cual la varianza molecular sigue evidenciando una diversidad estadística entre las muestras según el AMOVA. Esta alta mutabilidad muchas veces también puede ser reflejo de un proceso de cuello de botella (Neyman y Taylor,

2009) pues de acuerdo a Roze *et al.* (2005) este tipo de eventos permite una mejor fijación de los alelos más adaptables a procesos de selección natural.

La prueba de Tajima evidenció un resultado negativo (-1.39618), lo cual se debe a una selección con alelos deletéreos o raros en la población o bien a algún fenómeno de cuello de botella o bien eventos donde la población ha perdido una cantidad considerable de individuos (Simonsen *et al.*, 1995). Debido a lo anterior la Diversidad de  $\pi <$  Diversidad de  $\theta$ . Con estos argumentos y los resultados de la prueba de Tajima; se puede mencionar que las poblaciones de perrito de las praderas han sufrido una serie de conflictos de cuello de botella (Weber *et al.*, 2004). Potencialmente este tipo de razones se deben al mal manejo y al conflicto potencial que tuvieron los perritos con los productores y dueños de las propiedades anteriormente (Ceballos y Navarro 1991).

### **2.5.3 Estructura genética**

Se generó el árbol filogenético con la finalidad de analizar la estructura genética en el estado, mientras que las distancias resultaron con un promedio de 0.60 (Anexos). Para estructurar la filogeografía, se utilizaron algunas muestras con número de acceso NCBI (AF157911.1, KP217140.1, DQ106852.1). Esta información, nos permite comparar nuestras muestras dentro del árbol filogenético con otras dos de la misma especie y una especie distinta para evaluar el comportamiento del mapa con un grupo externo. El árbol filogenético indica que entre clados, existe cierta relación entre la distancia lineal con la distancia genética, por lo que, podemos inferir que en algunos casos las colonias cercanas podrían compartir el mismo clado (Figura 2.4).

Es imperativo señalar que aún con situaciones negativas, el perrito se considera como una especie que puede recolonizar sus hábitat al presentar características de especie pionera (Hale y Koprowski, 2017). Además, esta especie presenta una diversidad haplotípica similar al número de u, ya que estos resultados coinciden con los reportados por Castellano-Morales *et al.* (2015), quienes observaron que cada colonia tiene uno o varios clados. Sin embargo, esta regla no se aplica del todo con el mismo mapa. Por esta razón, se observa en las 22 muestras, clados distintos entre ellas (. Es importante mencionar que se comparten clados entre las colonias más lejanas o bien en una misma colonia existen clados distintos. Esta afirmación responde de forma contraria a la teoría que expone a las líneas parentales basadas muy marcadamente por el aislamiento



espacial (Wright, 1943), sin embargo, algunas coincidencias podrían basarse en colonias nuevas que han sido parte de una recuperación del perrito.

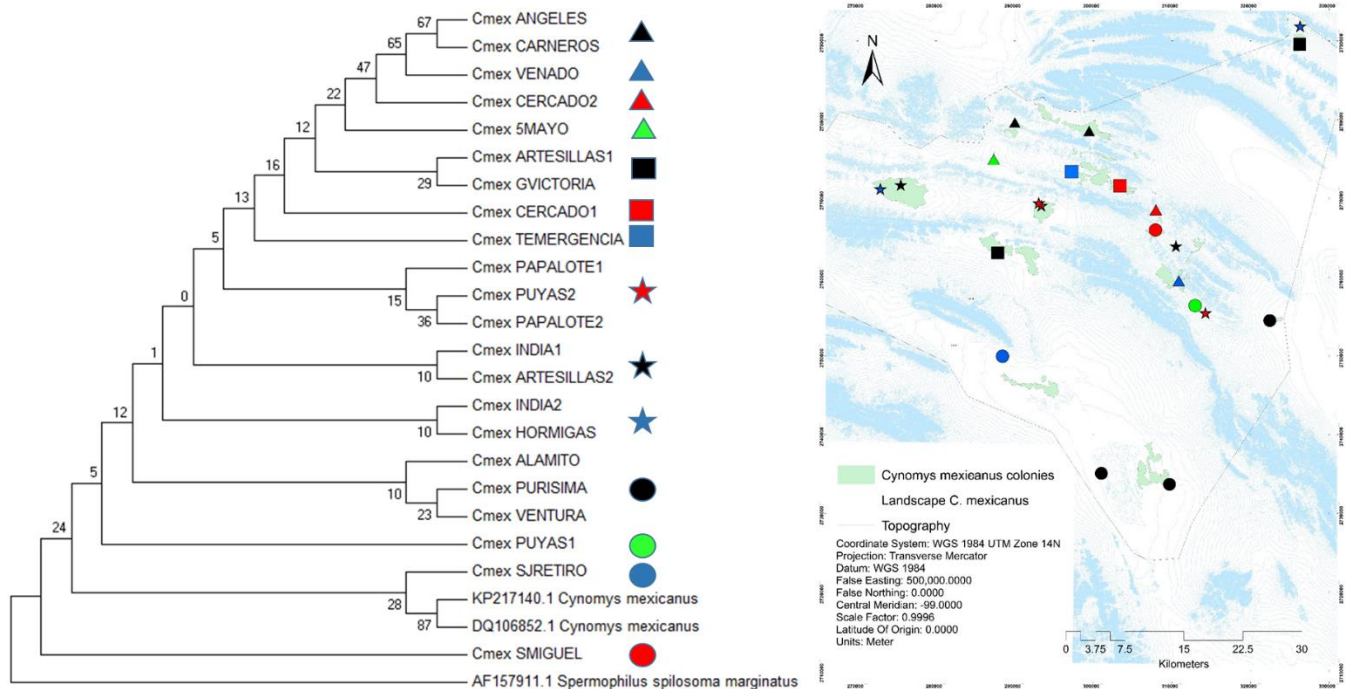


Figura 2.4. Filogeografía del perrito de las praderas (*C. mexicanus*) en Coahuila, México.

A pesar de buscar una recuperación con programas de manejo y otros proyectos de recuperación es innegable que esta especie ha diezmado sus poblaciones en los últimos años, aumentando su fragilidad. Sin embargo, aún y con este escenario conflictivo el perrito de las praderas es una especie resistente y con una buena resiliencia, su nivel de organización social en la colonia ha permitido que esta especie sobreviva frente a los conflictos con las comunidades donde coexiste (Verdolin *et al.*, 2014) y logre recuperarse, evitando la erradicación de la especie del hábitat. Dentro de las recomendaciones y/o estrategias sugeribles es que se permita la recolonización mediante el intercambio de individuos, ubicando líneas de trazado o la distancia más cercana entre una colonia y otra con la finalidad de que de forma natural exista este flujo de genes entre colonias para aumentar el vigor genético. De igual manera, se logró identificar como unacolonias de importancia, la situada entre Tanque de Emergencia y El Cercado, esta colonia potencialmente podría mostrarse como una colonia fuente o sumider.

## 2.6 CONCLUSIONES

En este estudio, se determinaron 22 haplotipos, para las 22 muestras de las diferentes colonias del estado de Coahuila. Se encontró que existe una buena diversidad genética y diversidad nucleótida en comparativa con otros estudios anteriores. La prueba de Tajima evidenció que las colonias de perrito han presentado cuellos de botella o bien alguna reducción drástica en alguna de sus colonias. La estructura genética nos indica que la distancias lineales entre colonias, no tiene inferencia en la distancia genética entre las mismas, por lo que en una colonia puede haber uno o más haplotipos. Los resultados nos permiten formular como estrategias el flujo de individuos entre colonias con la finalidad de aumentar el vigor en la genética de los individuos; lo anterior se puede lograr con la generación de corredores ecológicos o zonas de interconexión entre colonias que proponiendo un modelo de ruta más corta pueda generarse un intercambio de individuos.

## 2.7 LITERATURA CITADA

- Arita, H.T., 1997. The non-volant mammal fauna of Mexico: species richness in a megadiverse country. *Biodiversity y Conservation*, 6(6), pp.787–795.
- Arroyo-Cabrales, J. *et al.*, 2010. A perspective on mammal biodiversity and zoogeography in the Late Pleistocene of México. *Quaternary International*, 212(2), pp.187–197.
- Bravo, V.M.G. *et al.*, 2015. Golden eagle diet composition and breadth in Chihuahua, Mexico. *Acta zoológica mexicana*, 31(1), pp.116–119.
- Buffington, L.C. y Herbel, C.H., 1965. Vegetational Changes on a Semidesert Grassland Range from 1858 to 1963. *Ecological Monographs*, 35(2), pp.140–164.
- Canales-del Castillo, R. *et al.*, 2010. New breeding localities of Worthen's Sparrows in northeastern Mexico. *Journal of Field Ornithology*, 81(1), pp.5–12.
- Cartron, J.-L.E., Ceballos, G. y Richard, S.F. eds., 2005. *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico* 1 edition., Oxford ; New York: Oxford University Press.
- Castellanos-Morales, G. *et al.*, 2015. Genetic Variation and Structure in Contrasting Geographic Distributions: Widespread Versus Restricted Black-Tailed Prairie Dogs (Subgenus *Cynomys*). *Journal of Heredity*, 106(S1), pp.478–490.

- Castellanos-Morales, G. *et al.*, 2016. Peripatric speciation of an endemic species driven by Pleistocene climate change: The case of the Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 94, pp.171–181.
- Ceballos, G., & Navarro, D. (1991). Diversity and conservation of Mexican mammals. *Mares, MA y DJ Schmidly, Latin American Mammalogy: history, diversity and conservation. Univ. of Oklahoma Press.(Diversidad y conservación de mamíferos mexicanos, en: Mastozoología latinoamericana: historia, diversidad y conservación)*, 167-198.
- Ceballos, G., Mellink, E. y Hanebury, L.R., 1993. Distribution and conservation status of prairie dogs *Cynomys mexicanus* and *Cynomys ludovicianus* in Mexico. *Biological Conservation*, 63(2), pp.105–112.
- Ceballos, G., Rodríguez, P. y Medellín, R.A., 1998. Assessing Conservation Priorities in Megadiverse Mexico: Mammalian Diversity, Endemicity, and Endangerment. *Ecological Applications*, 8(1), pp.8–17.
- Ceballos, G. (2014). *Mammals of Mexico*. JHU Press
- Crow, J.F. (1999). Hardy-Weinberg and language impediments. *Genetics* 152: 821-825. enlace.
- Díaz-Padilla, G. *et al.*, 2011. MAPEO DEL ÍNDICE DE ARIDEZ Y SU DISTRIBUCIÓN POBLACIONAL EN MÉXICO. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, XVII(Especial), pp.267–275.
- Dyer, S.M. y Cervasio, E.L., 2008. An Overview of Restraint and Blood Collection Techniques in Exotic Pet Practice. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*, 11(3), pp.423–443.
- Fernández, J.A., 2012. Phylogenetics and biogeography of the microendemic rodent *Xerospermophilus perotensis* (Perote ground squirrel) in the Oriental Basin of Mexico. *Journal of Mammalogy*, 93(6), pp.1431–1439.
- Gallina-Tessaro, S., 2014. Características y evaluación del hábitat. En S. Galina-Tessaro y C. López González, eds. *Manual de técnicas para el estudio de fauna*. México: INACC,

pp. 255–283. Available at: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/717/cap12.pdf> [Consultado febrero 19, 2016].

Galtier, N., Enard, D., Radondy, Y., Bazin, E., & Belkhir, K. (2006). Mutation hot spots in mammalian mitochondrial DNA. *Genome Research*, 16(2), 215-222.

García, E., 1998. Climas. Available at: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsly\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsly_indent=no) [Consultado febrero 20, 2016].

González-Romero, A., 2014. Métodos de captura y contención de mamíferos. En S. Galina-Tessaro y C. López González, eds. *Manual de técnicas para el estudio de fauna*. México: INACC, pp. 117–126. Available at: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/717/cap5.pdf> [Consultado febrero 19, 2016].

Goodwin, H.T., 1995. Pliocene-Pleistocene Biogeographic History of Prairie Dogs, Genus *Cynomys* (Sciuridae). *Journal of Mammalogy*, 76(1), pp.100–122.

Hale, S. L., & Koprowski, J. L. (2017). Appendix b: Active management contributes to successful reintroduction of a keystone species: Black-tailed prairie dog (*Cynomys ludovicianus*) return to grasslands. Reestablishment of a keystone species: Initial outcomes and ecosystem responses, 1001, 43.

Hoogland, J.L., 1998. Estrus and copulation of Gunnison's prairie dogs. *Journal of Mammalogy*, 79(3), pp.887–897.

INEGI (Instituto Nacional.....), 2003. Uso de suelo y vegetación. Available at: [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usuarios/inf\\_e1m.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usuarios/inf_e1m.aspx) [Consultado febrero 20, 2016].

INEGI (Instituto Nacional.....), I.N. de E. y G., 2016. México en Cifras. *INEGI*. Available at: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=05> [Consultado abril 17, 2016].

- INIFAP (Instituto Nacional...), 1995. Edafología. Available at: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/eda251mgw.xml?\\_httpcache=yes&\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsl&indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/eda251mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&indent=no) [Consultado febrero 20, 2016].
- Jukes T.H. and Cantor C.R. (1969). Evolution of protein molecules. In Munro HN, editor, *Mammalian Protein Metabolism*, pp. 21-132, Academic Press, New York.
- Kumar S., Stecher G., and Tamura K. (2016). MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular Biology and Evolution* 33:1870-1874.
- Liu Z, Li B, Ma J, Zheng D, Xu Y. 2014. Phylogeography and genetic diversity of the red squirrel (*Sciurus vulgaris*) in China: implications for the species postglacial expansion history. *Mammal Biol.* 79:247–253.
- Lehmer, E.M., Bossenbroek, J.M. y Van Horne, B., 2003. The influence of environment, sex, and innate timing mechanisms on body temperature patterns of free-ranging black-tailed prairie dogs (*Cynomys ludovicianus*). *Physiological and Biochemical Zoology*, 76(1), pp.72–83.
- Martínez-Meyer, E., Sosa-Escalante, J.E. y Álvarez, F., 2014. El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, Supplement 1, pp.1–9.
- McCullough, D.A. y Chesser, R.K., 1987. Genetic Variation among Populations of the Mexican Prairie Dog. *Journal of Mammalogy*, 68(3), pp.555–560.
- Mead, J.I. *et al.*, 2009. Late Pleistocene (Rancholabrean) *Cynomys* (Rodentia, Sciuridae: prairie dog) from northwestern Sonora, Mexico. *Quaternary International*, 217, pp.138–142.
- Mellado, M. *et al.*, 2005. Dietary overlap between prairie dog (*Cynomys mexicanus*) and beef cattle in a desert rangeland of northern Mexico. *Journal of Arid Environments*, 62, pp.449–458.
- Mellado, M. y Olvera, A., 2008. Diets of prairie dogs (*Cynomys mexicanus*) co-existing with cattle or goats. *Mammalian Biology*, 73, pp.33–39.

- Mellink, E. y Madrigal, H., 1993. Ecology of Mexican Prairie Dogs, *Cynomys mexicanus*, in El Manantial, Northeastern Mexico. *Journal of Mammalogy*, 74(3), pp.631–635.
- Mittermeier, R.A., 1988. Primate diversity and the tropical forest. En E. O. Wilson, ed. *Biodiversity*. Washington, D. C.: National Academy Press, pp. 145–154.
- Riddle, B.R., Honeycutt, R.L. y Lee, P.L., 1993. Mitochondrial DNA phylogeography in northern grasshopper mice (*Onychomys leucogaster*) — the influence of Quaternary climatic oscillations on population dispersion and divergence. *Molecular Ecology*, 2(3), pp.183–193.
- Rioja-Paradela, T.M. *et al.*, 2009. Reproduction and Behavior of the Mexican Prairie Dog (*Cynomys mexicanus*). <http://dx.doi.org/10.1894/ME-33.1>. Available at: <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1894/ME-33.1> [Consultado enero 29, 2016].
- Rozas, J., Ferrer-Mata, A., Sánchez-DelBarrio, J. C., Guirao-Rico, S., Librado, P., Ramos-Onsins, S. E., & Sánchez-Gracia, A. (2017). DnaSP 6: DNA Sequence Polymorphism Analysis of Large Data Sets. *Molecular biology and evolution*, 34(12), 3299-3302.
- Sackett, L.C. *et al.*, 2011. Connectivity of prairie dog colonies in an altered landscape: inferences from analysis of microsatellite DNA variation. *Conservation Genetics*, 13(2), pp.407–418.
- Sánchez-Cordero, V. *et al.*, 2014. Biodiversidad de Chordata (Mammalia) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, Supplement 1, pp.496–504.
- Santos-Barrera, G., Pacheco, J. y Ceballos, G., 2008. Amphibians and reptiles associated with the prairie dog grasslands ecosystem and surrounding areas at the Janos Casas Grandes complex, northwestern Chihuahua, Mexico. *Acta zoológica mexicana*, 24(3), pp.125–136.
- Scott-Morales, L. *et al.*, 2009. Worthen's Sparrow (*Spizella wortheni*) in the Northern Mexican Plateau. *The Southwestern Naturalist*, 53(1), pp.91–95.
- Scott-Morales, L.M., Gottschalk, E. y Mühlenberg, M., 2005. Decline in the endemic Mexican prairie dog *Cynomys mexicanus*: what do we know about extinction risk? *Oryx*, 39(4), pp.389–397.

- 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. Available at: <http://bva.colech.edu.mx/xmlui/handle/1/1306> [Consultado febrero 12, 2016].
- Simonsen, KL.; Churchill, GA. y Aquadro, CF.1995. Properties of statistical tests of neutrality for DNA polymorphism data". *Genetics*. **141** (1): 413–29.
- Toledo, V.M. y Ordóñez, M. de J., 1993. The biodiversity scenario of Mexico: a review of terrestrial habitats. , pp.757–777.
- Treviño-Villarreal, J. y Grant, W.E., 1998. Geographic Range of the Endangered Mexican Prairie Dog (*Cynomys mexicanus*). *Journal of Mammalogy*, 79(4), pp.1273–1287.
- Verdolin, J. L., Traud, A. L., & Dunn, R. R. (2014). Key players and hierarchical organization of prairie dog social networks. *Ecological complexity*, 19, 140-147.
- Whitford, W.G., 1997. Desertification and animal biodiversity in the desert grasslands of North America. *Journal of Arid Environments*, 37(4), pp.709–720.
- Wright, S. 1943. Isolation by distance. *Genetics* 28; pp. 114-138.

## CONCLUSIONES GENERALES


De acuerdo a nuestros resultados, el área ocupada por el perrito de las praderas continúa decreciendo. Asimismo, la densidad de perritos en el área de estudio comparada con la citada en otros estudios de *Cynomys* fue baja. A pesar de que no existieron diferencias estadísticas entre las variables del hábitat por colonia, se logró identificar que la variable que mejor explica la abundancia de perrito llanero es la vegetación viva (pastos y herbáceas perennes). No se encontraron diferencias en el índice de interacción entre colonias pero si en el índice de conectividad. Los modelos utilizados identificaron las colonias con alto grado de importancia en la conectividad como lo es la colonia Tanque de Emergencia, la cual se identificó como Muy Importante. Ésta colonia podría ser considerada como una población fuente que genere el mayor flujo de individuos entre colonias; sin embargo, para generar corredores entre colonias y coadyuvar de mejor manera con la conservación de *C. mexicanus*, se requiere el uso de otros métodos como el redes de enlace.

En este estudio, se determinaron 22 haplotipos, para las 22 muestras de las diferentes colonias del estado de Coahuila. Se encontró que existe una buena diversidad genética y diversidad nucleótida en comparativa con otros estudios anteriores. La prueba de Tajima evidenció que las colonias de perrito han presentado cuellos de botella o bien alguna reducción drástica en alguna de sus colonias. La estructura genética nos indica que la distancias lineales entre colonias, no tiene inferencia en la distancia genética entre las mismas, por lo que en una colonia puede haber uno o más haplotipos. Los resultados nos permiten formular como estrategias el flujo de individuos entre colonias con la finalidad de aumentar el vigor en la genética de los individuos como se explica en el párrafo anterior, sobre todo implementando métodos como redes de enlace o corredores ecológicos.



# ANEXOS

## ANEXO 1. PERMISO DE COLECTA

  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES

SUBSECRETARÍA DE GESTIÓN  
PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL  
DIRECCIÓN GENERAL DE VIDA SILVESTRE

OFICIO NÚM. SGPA/DGVS/ 00206 /17

CIUDAD DE MÉXICO, A 11 DE ENERO DE 2017

DR. LUIS ANTONIO TARANGO ARAMBULA  
COLEGIO DE POSTGRADUADOS – CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ  
CALLE ZACATECAS No. 13  
COLONIA AMPLIACIÓN DE LA FE  
GUADALUPE, ZACATECAS  
C.P. 98615 - MÉXICO  
TEL. (492)492 5843, ltarango@colpos.mx

Considerando que ha dado cumplimiento a los requisitos establecidos para efectuar investigación y colecta científica de flora y fauna silvestres en territorio mexicano y con fundamento en el Artículo 32 Bis fracciones I, III, XX, XXXIX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; Artículos 19 fracción XXV y 32 fracciones VI, XVIII, XXI, XXIV del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 26 de noviembre de 2012; 79, 80 fracción I, 82, 83 y 87 párrafo cuarto de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; Artículos 9º. Fracción XII, 97 y 98 de la Ley General de Vida Silvestre; 12, 123 Fracción III y 126 del Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre; Artículo 85, Artículo 88, fracciones I y II, Artículo 105, fracciones II y III del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Áreas Naturales Protegidas (ANP's); las disposiciones relativas de la Norma Oficial Mexicana NOM-126-SEMARNAT-2000, por la que se establecen las especificaciones para la realización de actividades de colecta científica de material biológico de especies de flora y fauna silvestres y otros recursos biológicos en el territorio nacional; la 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; la Dirección General de Vida Silvestre **autoriza** la Colecta Científica por proyecto sobre especies o poblaciones en riesgo o sobre hábitat crítico, para realizar las siguientes actividades inherente al Proyecto denominado **“Diversidad genética en el perrito de las praderas *Cynomys mexicanus* y el estado de conservación de su hábitat en Coahuila, México”**:

- Contención de hasta ciento cincuenta (150) de ejemplares de la especie “perrito de las praderas, perro llanero mexicano” *Cynomys mexicanus* para la toma de muestra de sangre (2 ml.) para realizar estudios de variación genética utilizando marcadores moleculares y su liberación inmediata en el sitio de colecta.

Las actividades de colecta se llevarán a cabo en las **Localidades Rancho “Los Ángeles”, Artecillas, Bergel, Carneros, Carneros, Cercado, Cinco de Mayo, Rancho “Dos arbolitos”, Gómez Farías, Guadalupe Victoria, Hormigas, Las Colonias, La India, Las Puyas, Nuevo Gómez, Prop. “La Rufina”, San José del Alamito, San Miguel, Tanque de Emergencia, Venado, Ventura, Municipio Saltillo, Estado de Coahuila**. Esta autorización tendrá una vigencia a partir de la expedición de la presente al 30 de septiembre de 2017.

Las actividades se realizarán con el Aval de la Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, del Colegio de Postgraduados – Campus San Luis Potosí, con la colaboración del Ing. Francisco Emmanuel Pineda Pérez y el titular y colaborador quedan sujetos a las siguientes condicionantes:

continúa al reverso.../ Hoja 1 de 2

Av. Ejército Nacional No. 223, Colonia Anáhuac,  
Delegación Miguel Hidalgo, C. P. 011320  
Ciudad de México, Teléfono 01(55) 56-24-33-09

**1.- Deberá cumplir con las disposiciones Administrativa, Fiscales y de Sanidad exigibles por las autoridades competentes en la Materia, sean Federales, Estatales ó Municipales, así como con las disposiciones establecidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en Materia de Áreas Naturales Protegidas y demás disposiciones legales aplicables.**

2 - En la realización del proyecto propuesto, se responsabilizará al titular de la investigación de cualquier impacto significativo que resulte sobre las poblaciones de la flora o fauna silvestres y sus hábitats, por lo que deberá considerar el riesgo de perturbación del ecosistema, antes de su ejecución y no llevarlo a cabo si existe algún riesgo.

3 - Previo al inicio de las actividades de campo, deberá enviar obligatoriamente por escrito y utilizando cualquier medio su programa de trabajo a la Delegación Federal de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en el Estado de **Coahuila** (Tel. 01 (844) 411 84 21, 411 84 22), enviando copia del mismo a la Dirección General de Vida Silvestre. De igual manera, al término de dichas actividades lo notificará a esa Delegación Federal, enviándole un reporte detallado por escrito.

4.- Las actividades de contención de *Cynomys mexicanus* deberán ser bajo la responsabilidad de un médico veterinario que cuente con cédula profesional y esté capacitado en el manejo de la especie, con el fin de reducir el riesgo de los ejemplares objeto de la presente autorización.

5.- La totalidad del material colectado deberá destinarse exclusivamente a los fines específicos del proyecto, objeto de la presente autorización. Con base al Capítulo IV, Artículo 98 de la Ley General de Vida Silvestre, **el material biológico colectado será depositado en las Instalaciones del Colegio de Postgraduados – Campus San Luis Potosí** y el titular de la autorización, asume la responsabilidad de remitir a esta Dirección General, copia de la(s) constancia(s) del(os) depósito(s) debidamente firmado(s), especificando la cantidad del material depositado.

6 - Con base al Capítulo IV, Artículo 98 de la Ley General de Vida Silvestre y 126 del Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre, el responsable del proyecto deberá someter a la consideración de la Dirección General de Vida Silvestre, en un plazo no mayor de 30 (TREINTA) días de concluida la vigencia de la presente, un informe que describa **detalladamente** las actividades realizadas, los resultados obtenidos, la problemática del área trabajada, las potenciales alternativas de solución y -en su oportunidad-, la(s) publicación(es) y sobre tiros producto de la investigación.

7 - Queda estrictamente **prohibido** efectuar cualquier aprovechamiento de las especies de flora y fauna silvestres, cualquiera que sea su estatus, excepto lo aquí autorizado, así como realizar actividades en áreas naturales protegidas de México, sean Estatales o Federales, sin previa autorización.

**8 - De acuerdo al Artículo 87 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y al Capítulo IV, Artículo 97 de la Ley General de Vida Silvestre, esta autorización no ampara el aprovechamiento del material biológico colectado para fines comerciales, ni de utilización en biotecnología.**

Se recomienda que durante sus actividades de campo, en el caso de observar ejemplares de especies listadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, se notifique de ello (la especie, ubicación geográfica y la fecha) a esta Dirección General, en el informe de actividades antes mencionado.



SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES

**SUBSECRETARÍA DE GESTIÓN  
PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL  
DIRECCIÓN GENERAL DE VIDA SILVESTRE**

OFICIO NÚM. SGPA/DGVS/ 00206 /17

CIUDAD DE MÉXICO, A 11 DE ENERO DE 2017

La presente autorización es personal e intransferible y habrá de mostrarse a las Autoridades Federales, Estatales y Municipales cuantas veces lo soliciten. Así mismo y tomando en consideración lo establecido por el Artículo 87 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y por el Capítulo IV, Artículo 97 de la Ley General de Vida Silvestre, el titular de la presente deberá contar con el consentimiento previo, expreso e informado de los legítimos propietarios de la(s) tierra(s) donde pretende desarrollar el proyecto.

**El incumplimiento de las condiciones aquí establecidas, dará origen a la instauración de un procedimiento administrativo ante la autoridad competente, para proceder a la cancelación de la autorización y a la aplicación de la legislación correspondiente, según sea el caso.**

**ATENTAMENTE  
EL DIRECTOR GENERAL DE VIDA SILVESTRE**

  
**SEMARNAT**

**LIC. JOSÉ LUIS PEDRO FÚNES IZAGUIRRE**

- C.c.p. C. Joel González Moreno.- Director General de Inspección y Vigilancia de Vida Silvestre, Recursos Marinos y Ecosistemas Costeros, PROFEPA.- Carr. Picacho Ajusco No. 200, 6º. Piso, Col. Jardines de la Montaña, Delegación Tlalpan, C.P. 14210, Ciudad de México.- [vida\\_silvestre@profepa.gob.mx](mailto:vida_silvestre@profepa.gob.mx); [jmejia@profepa.gob.mx](mailto:jmejia@profepa.gob.mx)  
C. Miguel Ángel Espinosa Luna.- Coordinador de Asesores de la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental.- [coordinacion.sgpa@semarnat.gob.mx](mailto:coordinacion.sgpa@semarnat.gob.mx); [miguel.luna@semarnat.gob.mx](mailto:miguel.luna@semarnat.gob.mx)  
C. Raúl Fernando Tamez Robledo.- Delegado Federal de la SEMARNAT en el Estado de Coahuila.- [delegado@coahuila.semarnat.gob.mx](mailto:delegado@coahuila.semarnat.gob.mx)  
C. Fernando Sánchez Camacho.- Jefe del Departamento de Análisis para el Aprovechamiento de Otras Especies.- Edificio [fsanchez@semarnat.gob.mx](mailto:fsanchez@semarnat.gob.mx)  
Archivo General (09/K6-0015/01/17).

LEBMM/ACG/FSC/CRA

ColectCient-LuisATarangaA-PERRITO(9-1-17)

*"Por una cultura ecológica y el uso eficiente del papel, las copias de conocimiento de este oficio de remiten via electrónica".*

continúa al reverso.../  
Hoja 2 de 2

Av Ejército Nacional No 223, Colonia Anáhuac,  
Delegación Miguel Hidalgo, C P 011320  
Ciudad de México, Teléfono 01(55) 56-24-33-09

ANEXO 2. Muestra amplificada de mtDNA cyt b de *Cynomys mexicanus*.

