

<https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v71i1.54636>

Revisión histórica, distribución potencial y estado de conservación de la rata endémica de México *Xenomys nelsoni* (Rodentia: Cricetidae)

Claudia Ballesteros-Barrera^{1*};  <https://orcid.org/0000-0002-6191-3706>

Rocío Zárate-Hernández¹;  <https://orcid.org/0000-0001-7643-8947>

Bárbara Vargas-Miranda¹;  <https://orcid.org/0000-0001-8233-4423>

Adrian Leyte-Manrique²;  <https://orcid.org/0000-0001-5618-5276>

Cynthia Elizalde-Arellano³;  <https://orcid.org/0000-0003-2548-8738>

Angélica Martínez-Bernal¹;  <https://orcid.org/0009-0001-6550-1573>

Selene Ortiz-Burgos⁴;  <https://orcid.org/0000-0001-8255-045X>

1. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Apartado Postal 55-535. CP 09310 Ciudad de México, México; bbc7@xanum.uam.mx (*Correspondencia), mrzh@xanum.uam.mx, bvm@xanum.uam.mx, mba@xanum.uam.mx
2. Tecnológico Nacional de México, Campus Salvatierra, Laboratorio de Colecciones Biológicas, Guanajuato, México; aleyteman@gmail.com
3. Departamento de Zoología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Carpio y Plan de Ayala s/n, Casco de Santo Tomás, México D.F. 11340, Ciudad de México, México; thiaden@hotmail.com
4. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, CP 09230 Ciudad de México, México; gsob@ciencias.unam.mx

Recibido 28-III-2023. Corregido 30-VI-2023. Aceptado 30-X-2023.

ABSTRACT

Historical review, potential distribution, and conservation of the Mexican endemic rat *Xenomys nelsoni* (Rodentia: Cricetidae)

Introduction: The Magdalena Rat, *Xenomys nelsoni*, is a rodent endemic to Mexico, whose distribution is restricted to dense tropical dry forests in a small region on the Pacific coast of Mexico. It is a poorly known species categorized as “Endangered” by the International Union for Conservation of Nature (IUCN). This lack of knowledge and the high rates of deforestation of its habitat makes its conservation a priority.

Objective: To summarize the historical records deposited in scientific collections, to create potential distribution maps, and to analyze the conservation status of the species.

Methods: We obtained species occurrence data from literature and digital databases, analyzing them by the decade. We used GARP and MaxEnt software to generate the ecological niche models. The importance of the variables in the model was estimated using the Jackknife technique.

Results: Over 129 years, 19 collectors registered 69 specimens, of which 65 are deposited in one national and seven international collections. Although the species has only been collected in Jalisco and Colima, the potential distribution for *X. nelsoni* also includes the state of Michoacán. Of this estimated area, only 1.5 % is in a Protected Natural Area.

Conclusions: The results of the potential distribution could be used to verify the presence of the species in places where it has not been collected, such as the northern part of the Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve and in some areas of the physiographic province Costas del Sur in the state of Michoacán. It is needed to increase samplings in the least studied regions predicted by the model and expand the area of protection.

Key words: ecological niche modeling, Magdalena rat, maguey rat, scientific collections.



RESUMEN

Introducción: La Rata de Magdalena, *Xenomys nelsoni*, es un roedor endémico de México, de distribución restringida a las selvas bajas caducifolias densas, en una pequeña región de la costa del Pacífico mexicano. Es una especie poco conocida, catalogada como “En Peligro” de acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). Este desconocimiento unido a la alta tasa de deforestación de su hábitat hace que su conservación sea prioritaria.

Objetivo: Realizar un recuento histórico de los registros depositados en las colecciones científicas, generar mapas de distribución potencial y analizar el estado de conservación de la especie.

Método: Los datos de ocurrencia de las especies se obtuvieron de la literatura y bases de datos digitales y se analizaron por décadas. Se utilizaron los programas GARP y MaxEnt para generar los modelos de nicho ecológico. La importancia de las variables en el modelo se estimó mediante un análisis Jackknife.

Resultados: A lo largo de 129 años 19 recolectores registraron 69 ejemplares, de los cuales 65 están depositados en siete colecciones internacionales y una nacional. Aunque la especie sólo se ha recolectado en Jalisco y Colima, la distribución potencial de *X. nelsoni* incluye también el estado de Michoacán. De esta área estimada, sólo el 1.5 % se encuentra dentro de un Área Natural Protegida.

Conclusiones: Los resultados de la distribución potencial podrían ser utilizados para verificar la presencia de la especie en lugares donde no ha sido recolectada como el norte de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala y en algunas zonas de la provincia fisiográfica Costas del Sur en el estado de Michoacán. Es necesario incrementar los muestreos en regiones poco estudiadas predichas por el modelo y aumentar el área de protección.

Palabras clave: modelado de nicho ecológico, rata de Magdalena, rata magueyera, colecciones científicas.

INTRODUCCIÓN

En México, el orden Rodentia es uno de los grupos de mamíferos silvestres más importantes, por su riqueza biológica, endemidad, historia evolutiva, así como también por su función dentro de los ecosistemas. Sin embargo, a pesar de que existen numerosos estudios relacionados con este grupo, todavía falta conocer aspectos básicos de su biología y distribución geográfica. Este desconocimiento dificulta la conservación de los roedores, sobre todo en aquellos con poblaciones pequeñas, distribuciones restringidas o fragmentadas y que exhiben alta especificidad de hábitat (Cervantes & Ballesteros-Barrera, 2012; Fernández et al., 2014).

Un ejemplo de lo anterior es el género *Xenomys* (del griego *xenos*, raro y *mys*, ratón), que es endémico de México, y que está conformado por una sola especie, *Xenomys nelsoni*, la rata de Magdalena, la cual es poco conocida en su ambiente natural (Cervantes-Reza & Montaña-Sosa, 2019; León-Tapia, 2014). Este hecho probablemente esté asociado con sus hábitos arborícolas y actividad principalmente nocturna, por lo que su presencia se registra con poca

frecuencia durante el trabajo de campo (Schalldach, 1960). *X. nelsoni* tiene una distribución reducida y restringida a una pequeña porción de las costas de Jalisco y Colima, en sitios de selva baja caducifolia, selva baja subcaducifolia y bosque espinoso, caracterizados por presentar un dosel cerrado, y una alta densidad de árboles y enredaderas (Ceballos, 2014; Ceballos et al., 2002; Cervantes-Reza & Montaña-Sosa, 2019). La superficie que originalmente cubrían las selvas secas en México se ha reducido en cerca del 70 %, y su tasa de deforestación anual es una de las más altas entre los ecosistemas del país (Ceballos et al., 2010). Debido a lo anterior *X. nelsoni* está considerada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por su sigla en inglés) en su Lista Roja de Especies Amenazadas, en la categoría de “En Peligro” (Vázquez, 2018); mientras que en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SE-MARNAT-2010, se encuentra catalogada en la categoría de “Amenazada” (DOF, 2019). Si bien el primer ejemplar fue recolectado y descrito en 1892 (Merriam, 1892), las publicaciones acerca de la especie han sido escasas y no se enfocan particularmente en ella, sino que forman parte de estudios de taxonomía,

ecología o de historia natural (Castellanos et al., 2007; Ceballos, 1989, Ceballos, 1990; Ceballos, 2014; Ceballos & Miranda, 2000; Mendoza, 1997; Merriam, 1894; Musser & Carleton, 2005; Schaldach, 1960), de listados mastofaunísticos (Fa & Morales, 1991), análisis genéticos y de filogenia (Bradley et al., 2022; Haiduk et al., 1988; Martín & Zakrzewski, 2019), o bien mapas de distribución potencial que forman parte de proyectos donde se analizan diversas especies de mamíferos (Ballesteros- Barrera et al., 2016; Ceballos et al., 2006; Sánchez-Cordero et al., 2020).

En los últimos años se ha empleado el modelado del nicho ecológico de las especies y su proyección en la geografía para hacer estimaciones de sus distribuciones potenciales (Peterson et al., 2011; Peterson & Soberón, 2012) e inferir áreas en las que podrían habitar especies con escasos registros de recolecta y restringidas geográficamente (Gaubert, et al., 2002; Meza-Joya et al.; 2018, Papes & Gaubert, 2007). Esto permite identificar áreas prioritarias para la conservación, principalmente en ambientes amenazados como las selvas bajas caducifolias (Flores-Tolentino et al., 2019; Papes & Gaubert, 2007). Por lo expuesto anteriormente, el propósito de este trabajo fue 1) realizar un recuento y análisis histórico de los registros de la especie depositados en colecciones científicas, 2) evaluar el efecto de las variables climáticas predictoras en su distribución geográfica, 3) generar mapas de su distribución potencial y 4) analizar el estado de conservación de la especie utilizando como base los rasgos de su distribución y su endemidad según los criterios de la IUCN y la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2019).

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de datos biológicos: los datos de presencia de la especie se obtuvieron a partir de dos fuentes: 1) literatura especializada (Ceballos, 2014; Ceballos et al., 2002; Cervantes-Reza & Montaña-Sosa, 2019; Schaldach, 1960) y 2) bases de datos digitales: Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad

de México (CONABIO, 2021) Global Biodiversity Information Facility (GBIF.org, 2021), Vertnet (Vertnet, 2021) y National Museum of Natural History, Smithsonian Institution (NMNH, 2021). Los registros obtenidos sin información correspondiente a la localidad fueron eliminados, mientras que los que no contaban con coordenadas, pero que tuvieran la localidad, fueron georeferenciados por medio de Global Gazetteer Versión 2.3 (<http://www.fallingrain.com>) y Google Earth (<https://earth.google.com/web/>). Las localidades que contaban con coordenadas geográficas fueron verificadas para corroborar que el municipio o estado fueran correctos. Asimismo, la ubicación de los registros fue comparada con mapas de la distribución conocida de la especie publicados en Hall (1981), Ceballos et al. (2002) y Ceballos (2014). Con los datos obtenidos se cuantificó el número de registros por año y por colección y se realizó una curva de acumulación en intervalos de 10 años.

Obtención de datos ambientales, determinación del área accesible (M) y perfiles bioclimáticos: se usaron 19 capas climáticas para México en formato ráster, las cuales contienen información mensual de precipitación y temperatura promedio durante el período de 1910 a 2009, con una resolución espacial de ~ 1 km² (30 segundos de arco, Cuervo-Robayo et al., 2014; Tabla 1). Para obtener el área de extensión y generar los modelos de nicho ecológico, las coberturas fueron recortadas suponiendo un área accesible para la especie, conocida como región M (Peterson et al., 2011). Para ello se sobrepusieron los puntos de ocurrencia con la capa “Ecorregiones Terrestres de México” (INEGI-CONABIO-INE, 2008). Se seleccionó la ecorregión “selvas cálidas-secas” como polígono de recorte de las coberturas climáticas debido a que esta ecorregión coincide con las zonas de selvas bajas caducifolias y subcaducifolias y bosques espinosos donde habita la especie.

El análisis del perfil bioclimático proporciona información climática de las zonas donde se recolectó la especie (Fischer et al., 2001; Lindenmayer et al., 1991), así como información

**Tabla 1**

Variables utilizadas para determinar el perfil bioclimático de las localidades de registro de *Xenomys nelsoni*. **Table 1.** Variables used to determine the bioclimatic profiles of the *Xenomys nelsoni* occurrence record locations.

Código	Descripción	Valores
BIO1	Temperatura promedio anual (°C)	23.7- 25.9 (25.0 ± 0.6)
BIO2	Oscilación diurna de la temperatura (°C)	12.6 -15.5 (13.5 ± 0.8)
BIO3 *	Isotermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y7)	0.61- 0.68 (0.7 ± 0.0)
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)	0.51- 0.76 (0.6 ± 0.1)
BIO5	Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C)	33.2-35.3 (33.9 ± 0.6)
BIO6	Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)	11.9-14.5 (13.1 ± 0.8)
BIO7	Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 5 y 6)	19.4-23.5 (20.8 ± 1.0)
BIO8	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)	24.6-27.7 (26.9 ± 0.8)
BIO9	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)	23.2-24.7 (23.8 ± 0.5)
BIO10	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C)	25.4-27.9 (27.1 ± 0.7)
BIO11	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)	21.7-23.5 (22.5 ± 0.6)
BIO12	Precipitación anual (mm)	752-1123 (890.3 ± 6.0)
BIO13	Precipitación del periodo más lluvioso (mm)	45-71 (57.9 ± 6.3)
BIO14	Precipitación del periodo más seco (mm)	0
BIO15 *	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)	108-116 (112.2 ± 2.0)
BIO16	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)	498-775 (604.37 ± 4.2)
BIO17	Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)	0
BIO18 *	Precipitación del cuatrimestre más cálido (mm)	384-609 (483.75 ± 4.5)
BIO19	Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)	9-41 (23.4 ± 10.1)

Se presentan los valores mínimos y máximos; entre paréntesis el promedio y la desviación estándar. Las variables climáticas marcadas con asterisco (*) fueron empleadas en la modelación del nicho ecológico. / Minimum and maximum values are shown; the mean and the standard deviation appear in parenthesis. The climatic variables marked with an asterisk (*) were used in the modeling of the ecological niche.

indirecta acerca del espacio ecológico en el cual se considera que una especie puede sobrevivir bajo condiciones naturales (Flores-Jiménez et al., 2017; Vázquez-Morales et al., 2014; Villaseñor & Téllez-Valdés, 2004). Para generar el perfil bioclimático se utilizó la herramienta *Extract by mask* del menú *Spatial Analyst* del programa ArcMap 10.4.1 (ESRI, 2016). Mediante la misma se extrajeron los valores de las 19 variables bioclimáticas para cada registro. Posteriormente, se calcularon sus promedios, mínimos, máximos y desviaciones estándar para obtener la información climática que hay en localidades de recolecta (Fischer et al., 2001; Villaseñor & Téllez-Valdés, 2004; Tabla 1).

Modelos de distribución potencial y estimación de distribución geográfica potencial: considerando que la multicolinealidad entre variables puede llevar a un sobre ajuste

del modelo de nicho ecológico, se efectuó el siguiente procedimiento para seleccionar las variables que se incluyeron en el proceso de modelado: 1) se realizó un análisis exploratorio de las 19 variables con MaxEnt 3.4.1 (Phillips et al., 2006) utilizando la prueba de Jackknife para determinar las que presentaran un mayor porcentaje de contribución en la construcción del modelo, 2) por medio del análisis de correlación (coeficiente de Pearson) se escogieron las variables que mostraran valores de $|r| < 0.70$ (Dorman et al., 2013). Finalmente se eligieron cinco variables que cumplieron con los criterios anteriores y se utilizaron para realizar los modelos: BIO 3 = Isotermalidad, BIO 8 = Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso, BIO 9 = Temperatura promedio del cuatrimestre más seco, BIO 15 = estacionalidad de la precipitación y BIO 18 = precipitación del cuatrimestre más cálido.

Para realizar los modelos de nicho ecológico se utilizaron dos algoritmos: GARP (Scachetti-Pereira, 2002; Stockwell & Noble, 1991) y MaxEnt (Phillips et al., 2006), los cuales han mostrado capacidades de predicción precisas con datos de solo presencia (Elith et al., 2011; Srivastava et al., 2020; Su et al., 2021; Yang et al., 2020), además de que se pueden obtener resultados relativamente adecuados con tamaños de muestra pequeños (Pérez-García & Liria 2013; Plasencia-Vázquez, et al., 2014; Raxworthy et al., 2003). Para generar los modelos se eliminaron los datos duplicados, por lo que no se incluyeron los registros de las observaciones directas, ya que las localidades donde éstas fueron obtenidas se corresponden con las de los ejemplares depositados en colecciones. A fin de minimizar la correlación espacial de los registros y evitar el sesgo ambiental, se utilizó a partir de la extensión SDMToolbox del sistema de información geográfica ArcMap 10.4.1 (ESRI, 2016) la herramienta “Spatially rarefy occurrence data” (Brown, 2014) a una distancia Euclidiana de 1 km. La partición de datos para entrenamiento y pruebas se realizó con el Paquete ‘ENMeval’ (Muscarella et al., 2014) en RStudio usando el método de “n-1 Jackknife” (Radosavljevic & Anderson, 2014)

Los parámetros utilizados 80 % de los registros para datos de entrenamiento y 20 % para datos prueba, 1 000 iteraciones como máximo y un nivel de convergencia de 0.0001. Para GARP se generaron 100 modelos eligiendo los diez mejores, los cuales se sumaron y los valores de presencia fueron considerados donde coincidieran al menos siete de los diez modelos, con lo que se generó un mapa de consenso. La calibración de MaxEnt se realizó con el paquete de R ENMeval (Muscarella et al., 2014). Se usaron cinco tipos de respuesta (feature classes) L, LQ, H, LQH, LQHP y se combinaron con diferentes multiplicadores de regularización: 0.5 a 5 en pasos crecientes de 0.5 (Merow et al., 2013). Se seleccionó la función “validación cruzada” y el número de réplicas que se realizaron fueron de acuerdo con el mismo número de puntos de ocurrencia (Phillips & Dudík 2008; Phillips et al., 2006; Spiers et al., 2018). Se seleccionó el

mejor modelo con base en el valor de AUC, el menor valor de tasa de omisión, y la diferencia del criterio de información de Akaike ($\Delta AICc$) más cercano a cero (Warren & Seifert, 2011). La importancia de las variables ambientales predictoras fue evaluada por medio del análisis de Jackknife. Se utilizó la salida clog-log y con un valor de corte de presencia del décimo percentil para obtener un mapa booleano (presencia/ausencia). Este nivel de corte supone que 10 % de los datos de presencia pueden ocurrir en áreas donde la especie está ausente debido a errores de posicionamiento o falta de resolución en los datos ambientales (Pearson et al., 2007). Los modelos finales fueron validados por medio del análisis ROC parcial (Peterson et al., 2008) con en el programa Tool for Partial-ROC (Narayani, 2008).

Evaluación del estado de conservación: puesto que los reportes de recolecta refieren que la especie habita en sitios con vegetación de selva conservada, con una alta densidad de árboles (Ceballos et al., 2002; Cervantes-Reza & Montaña-Sosa, 2019; Schaldach, 1960), se eliminaron de los modelos las áreas que actualmente presentan un hábitat perturbado (zonas urbanas, agrícolas, desprovistas de vegetación, cuerpos de agua, zonas ganaderas); utilizando para ello la información del Inventario Nacional Forestal de México Serie VI (Escala 1:250 000; INEGI, 2016); con esto se estimó el área perdida por el cambio del uso de suelo. Posteriormente, las áreas resultantes se solaparon con los polígonos de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de México de carácter federal y estatal (CONABIO, 2020; SEMARNAT-CONANP, 2020) y se calculó el área de distribución potencial de la especie que se encuentra dentro de las ANP.

La categoría de riesgo de la especie se determinó con base en dos criterios: 1) el criterio B.- “Distribución geográfica”, de la Lista Roja de la IUCN (Bland et al., 2016), y 2) el criterio A.- “Amplitud de la distribución del taxón en México”, de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010). En el criterio B de la IUCN, la extensión de



la presencia de la especie (EOO) es medida a través de la determinación del área (km²) de un polígono convexo mínimo (el polígono más pequeño que abarca todas las ocurrencias conocidas) y el área de ocupación (AOO) de la especie es determinada por el conteo del número de celdas ocupadas por dentro de una cuadrícula. Una especie se considera en la categoría de “En Peligro Crítico” si la EOO es menor a < 100 km², “En Peligro” < 5 000 km², y “Vulnerable” < 20 000 km² (Bland et al., 2016). Tanto la EOO como el AOO se determinaron con el software de evaluación de la conservación geoespacial, GeoCAT (<http://geocat.kew.org/>), que utiliza una cuadrícula de 2 km según lo recomendado por la IUCN (IUCN Standards and Petitions Committee, 2019). La EOO también fue calculada por medio del área predicha mediante la proyección de los modelos de nicho de GARP y de MaxEnt. Para hacer equiparables los resultados obtenidos con GeoCAT y los mapas binarios, el área obtenida de estos últimos fue recortada con respecto al polígono EOO que incluye las localidades de recolecta. El Criterio A de la NOM-059-SEMARNAT-2010 se refiere al tamaño relativo del área de distribución del taxón respecto al área total del territorio nacional (ca. 2 millones de km²) y considera cuatro gradaciones: I) si el área de distribución es < 5 % se consideran muy restringidas, II) entre el 5 y 15 %, restringidas, III)

entre 15 y 40 %, medianamente restringidas o de amplia distribución y IV) con un área > 40 %, ampliamente distribuidas (DOF, 2010): Para obtener el Criterio A de igual manera se tomó en cuenta la EOO calculado en GeoCAT y por los algoritmos de distribución potencial.

RESULTADOS

Revisión histórica: la base de datos de los registros de *Xenomys nelsoni* estuvo conformada por 69 ejemplares, de los cuales 64 se encuentran depositados en colecciones científicas (40 en siete colecciones internacionales y 24 en una colección nacional, Tabla 2) y cinco individuos fueron observados en campo. Estos ejemplares fueron recolectados en 26 localidades (13 en el estado de Jalisco y 13 en Colima). Las colecciones científicas que cuentan con la mayor cantidad de ejemplares son la Colección Nacional de Mamíferos del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (CNMA, 24 registros), seguida del Natural History Museum, Los Angeles County (LACM, 17 registros) y la University of Arizona (UAZ, 12 registros).

La Fig. 1 muestra la representación gráfica de la recolecta la de *X. nelsoni* a lo largo de 129 años (de 1892 a 2021), por 19 recolectores (Tabla 3), iniciando el 21 de marzo de 1892 cuando E. W. Nelson registró el ejemplar tipo

Tabla 2

Número de ejemplares de *Xenomys nelsoni* depositados en colecciones científicas nacionales (*), extranjeras (**), y datos de observaciones (***). **Table 2.** Number of *Xenomys nelsoni* specimens deposited in national (*) and foreign (**) scientific collections, and observational data (***).

Siglas de la colección	Nombre de la institución	Número de registros
CNMA*	Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México	24
LACM**	Natural History Museum, Los Angeles County	17
UAZ**	University of Arizona	12
SNIB***	CONABIO	5
TTU**	Texas Tech University	4
USNM**	National Museum of Natural History, Smithsonian Institution	3
SNOMNH**	Sam Noble Oklahoma Museum of Natural History, University of Oklahoma	2
LSU**	Louisiana State University Museum of Natural Science	1
UMMZ**	University of Michigan, Museum of Zoology	1
TOTAL		69

Tabla 3

Año de recolecta de los ejemplares de *Xenomys nelsoni*, acrónimos de las colecciones en las que están depositados y nombre del recolector. **Table 3.** Year of collection of the *Xenomys nelsoni* specimens, acronyms of the collections in which they are deposited, and the name of the collector.

Año	Colección	Recolector	Número de catálogo
1892	USNM**	Nelson, E. W.	33280, 33281 ^a , 33282
1938	UMZZ**	Burt, W. H.	80945
1958	LACM**	Griffith, J. S.	11527, 11528, 11529
1958	LACM**	Schaldach, W. J.	11530, 11531, 11532, 11533, 11534, 11535
1960	LACM**	Gardner, A. L.	13913, 13912, 13913, 13912
1961	CNMA*	Villa, R. B.	5663, 5664, 5829
1961	UAZ**	Gardner, A. L.	8198
1964	LSU**	González B., C.	12623
1964	UAZ**	González B., C.	10617, 10634, 10635, 10656, 10657, 10658, 10666, 10682, 11109, 11110
1968	LACM**	Clifton, P. L.	59398
1969	LACM**	González B., C.	33938, 33939, 33940, 33941
1970	CNMA*	López-Forment C., W.	12139, 12140
1970	CNMA*	Ramírez P., J.	12141, 12142
1972	CNMA*	Sánchez H., C.	14520
1973	CNMA*	Sánchez H., C.	14521, 14522, 14523
1973	SNOMNH**	Kennedy, M. L.	13005
1982	TTU**	Baker, R. J.	37789
1982	TTU**	Chesser, R. K.	37790
1982	TTU**	Clarck, C. L.	37790
1982	TTU**	Robbins, L.W.	37788
1983	CNMA*	Ceballos-G., G.	99
1986	CNMA*	Ceballos-G., G.	120
01999	SNOMNH**	No disponible	26962
2004	CNMA*	Cervantes R., F. A.	42986, 42987
2005	CNMA*	Cervantes R., F. A.	42989, 42984
2016	CNMA*	Cervantes R., F. A.	49521
2017	iNaturalist***	Fuentes, D.	No aplica

Colecciones científicas, nacionales (*), extranjeras (**) y observaciones (***), ^a indica el ejemplar tipo. / National (*) and foreign (**) scientific collections, and observations (***), “a” indicates the type specimen.

en la Hacienda la Magdalena, Colima, sitio que después de la Revolución Mexicana cambió de nombre a Pueblo Juárez (Schaldach, 1960). En esta figura se observa que a partir de 1960 se incrementaron los esfuerzos para documentar la mastofauna de la región y, por lo tanto, de la especie principalmente por investigadores estadounidenses. En 1961 se presenta la primera recolecta de un ejemplar por un investigador mexicano, el Dr. Bernardo Villa de la CNMA, UNAM (Tabla 3). A partir de la década de 2000-2010 se inician los registros de avistamientos por científicos y ciudadanos en

plataformas digitales (<https://www.naturalista.mx/>).

Modelado de nicho: los resultados del perfil bioclimático muestran las condiciones ambientales de las localidades donde fue registrada la especie. Estos sitios presentan un intervalo de temperatura promedio anual de 23.7 - 25.9 °C, temperatura promedio del cuatrimestre más cálido de 25.4 - 27.9 °C, temperatura promedio del cuatrimestre más frío de 21.7 - 23.5 °C, precipitación anual total de 752 mm-1 123 mm, siendo la precipitación del

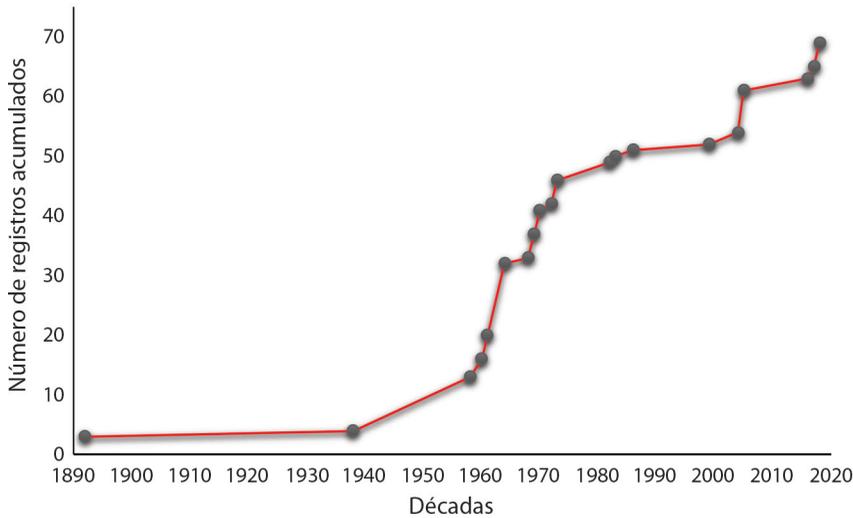


Fig. 1. Gráfica de la acumulación de registros de *Xenomys nelsoni* a partir de la primera década de recolecta. / **Fig. 1.** Accumulation of *Xenomys nelsoni* occurrence records starting from the first decade of collection.

cuatrimestre más lluvioso de 498 - 775 mm y la precipitación del cuatrimestre más seco de 0 mm, los valores de las 19 variables se encuentran en el Tabla 1.

Con respecto a los modelos de nicho, de las 26 localidades con coordenadas únicas, resultaron 18 registros sin correlación espacial ni ambiental, las cuales se utilizaron para generar los modelos de nicho ecológico. La construcción de los modelos de MaxEnt tuvo resultados de evaluación para 18 modelos candidatos. Se seleccionó el modelo con tipo de respuesta LQ con un multiplicador de regularización 0.5 (AUC = 0.806 y $\Delta AICc = 0.028$). De acuerdo con el análisis de Jackknife las variables con mayor porcentaje de contribución para la construcción del modelo son principalmente las relacionadas con la temperatura: BIO 3 = Iso-termalidad (45 %), BIO 8 = Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (39.7 %), y en menor porcentaje la BIO 18 = precipitación del cuatrimestre más cálido (9.7 %). Las pruebas de ROC parcial tuvieron valores significativos ($P < 0.0001$) de 1.25 para MaxEnt y 1.56 para GARP, esto indica que los modelos generados por ambos algoritmos son estadísticamente

mejores que lo esperado al azar. La superficie de área idónea obtenida para *X. nelsoni* abarca los estados de Jalisco, Colima y Michoacán, con un área potencial de 14 200 km² según MaxEnt y 12 271 km² conforme a GARP. Si se considera únicamente el área que permanece sin alteración por cambio de uso de suelo (vegetación primaria de selva baja caducifolia), se encontró que permanecen en 7 369 km² según el modelo de MaxEnt y en 6 893 km² de acuerdo con el modelo de GARP.

Si bien en el momento histórico en que las recolectas fueron realizadas los sitios presentaban selva baja caducifolia, al sobreponer dichas localidades con la información del Inventario Nacional Forestal de México (Serie VI; INEGI, 2016), se puede observar que algunos lugares han cambiado su tipo de vegetación, debido al uso de suelo que se les ha dado. Una localidad donde se registró la especie en 1892 y tres localidades donde se recolectó en 1964 ahora están en la categoría “urbano construido”; mientras que seis localidades (registradas en 1938, 1961, 1964, 1968, 1969 y 1999) cambiaron a las categorías de “agricultura” y de “pastizal cultivado”. Además 4 localidades de los años:

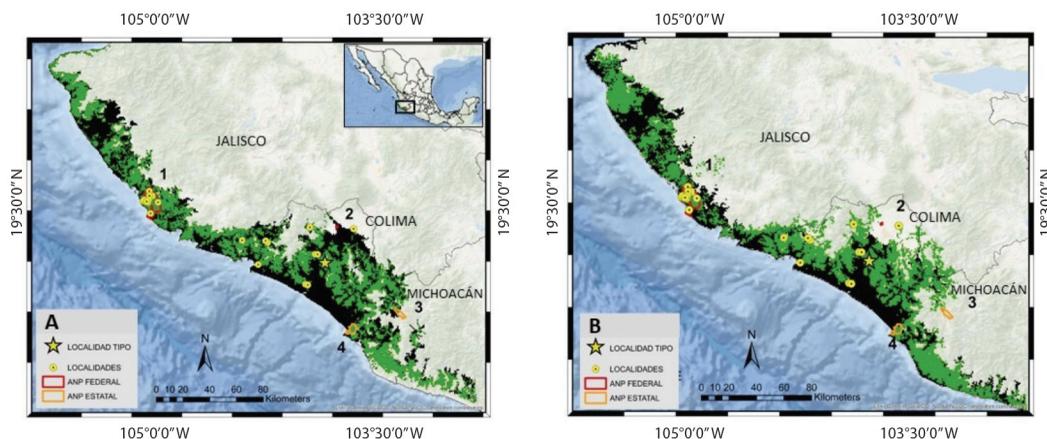


Fig. 2. Mapas de distribución potencial de *Xenomys nelsoni* estimados mediante la proyección de los modelos de nicho ecológico. Los mapas muestran los modelos obtenidos con la implementación de MaxEnt (A) y GARP (B). En color verde la distribución potencial predicha, en negro la distribución potencial perdida por efecto del cambio de uso de suelo. Áreas Naturales Protegidas Federales: 1.- Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, 2.- Área de Protección de Recursos Naturales “La Huerta”, Áreas Naturales Protegidas E estatales: 3.- El Barrancón de las Guacamayas y 4.- Lagunas Costeras y Serranías Aledañas de la Costa Norte de Michoacán. / **Fig. 2.** Potential distribution maps of *Xenomys nelsoni* estimated by projection of the ecological niche models. The maps show the models obtained through the implementation of MaxEnt (A) and GARP (B). The predicted potential distribution is marked in green, while black indicates the potential distribution lost due to change in land use. Federal Protected Natural Areas: 1.- Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve, 2.- “La Huerta” Natural Resource Protection Area; State Protected Natural Areas: 3.- El Barrancón de las Guacamayas, and 4.- Coastal Lagoons and Surrounding Mountains of the Northern Coast of Michoacán.

1892 (localidad tipo), 1969, 1961 y 1973 ahora presentan “vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia”.

Del total de área potencial predicha por lo modelos, alrededor de 170 km² (1.2 % del total) se encuentra protegida en cuatro ANP, dos de carácter Federal: 1) la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (Jalisco) y 2) el Área de Protección de Recursos Naturales “La Huerta” (Colima); y dos de carácter Estatal: 1) el Barrancón de las Guacamayas (Michoacán) y 2) las Lagunas Costeras y Serranías Aledañas de la Costa Norte de Michoacán (Michoacán) (Fig. 2). Cabe mencionar que únicamente en la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala se cuenta con registros de la especie.

Los resultados de la estimación de la EOO obtenidos por medio de GeoCAT, MaxEnt y GARP fueron < 5 000 km², lo que de acuerdo con el criterio B establecido por la IUCN sugiere la categorización de la especie como “En peligro”. Para el criterio A de la Norma Oficial

Mexicana el área de distribución es < 5 % por lo que se le considera una distribución muy restringida (Fig. 3).

DISCUSIÓN

Si bien los trabajos previos sobre la rata de Magdalena *Xenomys nelsoni* (Ceballos, 2014; Ceballos et al., 2002; Cervantes-Reza & Montaña-Sosa, 2019) han aportado datos valiosos acerca de su taxonomía y su historia natural, el conocimiento actual sobre su distribución y preferencias ambientales aún resulta escaso, por lo que el presente trabajo pretende llenar ese vacío de información. En este sentido la información que aportan las colecciones científicas es fundamental ya que brinda datos sobre los distintos lugares de recolecta y los periodos de tiempo en los que se realizaron los muestreos. Con estos antecedentes asociados a los ejemplares, es posible hacer una reconstrucción histórica de cómo se ha generado el conocimiento de

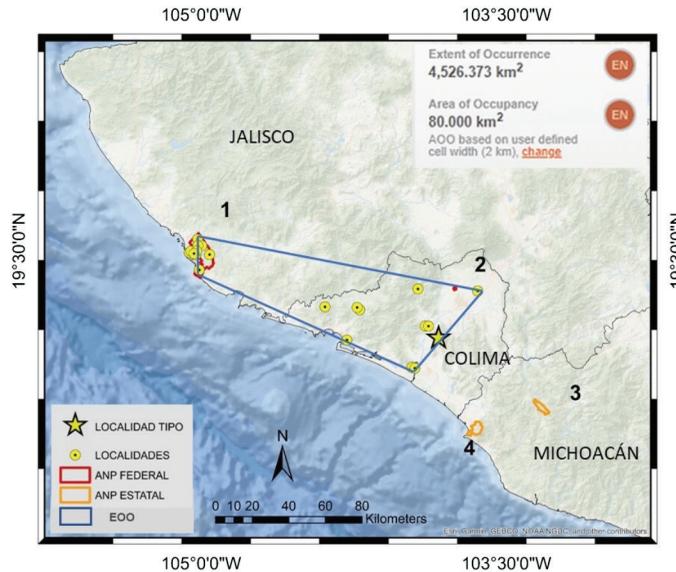


Fig. 3. Polígono de la estimación de la extensión de presencia (EOO) y el área de ocupación (AOO) de *Xenomys nelsoni* y su categoría de riesgo, obtenidas con la herramienta de evaluación GeoCAT (<http://geocat.kew.org/>). Áreas Naturales Protegidas: 1.- Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, 2.- Área de Protección de Recursos Naturales “La Huerta”, 3.- Lagunas Costeras y Serranías Aledañas de la Costa Norte de Michoacán. / **Fig. 3.** Polygon estimation of extent of occurrence (EOO) and area of occupancy (AOO) of *Xenomys nelsoni* and its risk category, generated using the GeoCAT assessment tool (<http://geocat.kew.org/>). Protected Natural Areas: 1.- Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve, 2.- “La Huerta” Natural Resource Protection Area, 3.- Coastal Lagoons and Surrounding Mountains of the Northern Coast of Michoacan

las especies. En el caso de *X. nelsoni*, se puede decir que su recolecta ha sido limitada a lo largo del tiempo y ha estado restringida en algunas localidades (Tabla 2 y Tabla 3). La mayor parte de los registros se encuentran en colecciones de los Estados Unidos, esto se puede explicar debido a que a finales del siglo XIX y principios del XX en ese país, surgen instituciones y museos de historia natural con un gran interés en documentar la biodiversidad de México (Ríos-Muñoz et al., 2014). Los tres ejemplares de *X. nelsoni* (incluyendo al ejemplar tipo) que fueron recolectados por Edward W. Nelson en 1892, corresponden a una de las primeras incursiones en México de investigadores estadounidenses del recién formado Smithsonian Institution (1846) y fueron depositados en el USNM- National Museum of Natural History (Sánchez-Hernández et al., 2016). En la década de 1910-1919, debido a distintos conflictos bélicos como la Revolución Mexicana y la Primera

Guerra Mundial, hubo un decremento en el número de exploraciones científicas (Guevara-Chumacero et al., 2001), de ahí el nulo registro de la especie. En 1938, W. H. Burt de la University of Michigan, la registra nuevamente. De 1958 a 1969, mastozoólogos del Natural History Museum of Los Angeles County (LACAM), realizaron expediciones en Colima (Sánchez-Hernández et al., 2016) e hicieron recolectas de 35 ejemplares de la rata de Magdalena. Merece mención especial el Dr. Bernardo Villa, fundador de la Colección Nacional de Mamíferos de México (CNMA) de la UNAM, quien es el primer investigador de una institución mexicana que recolecta a la especie en 1961. Es a partir de la década de 1970 que las instituciones e investigadores mexicanos comienzan las recolectas formales de la especie. Las décadas de los 70-80 tanto mastozoólogos mexicanos de la CNMA como extranjeros de las universidades de Oklahoma (SNOMNH) y Texas Tech (TTU)

continúan con los muestreos de la especie, disminuyendo casi totalmente en la década de los 90. Fue en el año 2004 que comienza de nuevo el interés por registrar la especie en campo, en este caso por personal de la CNMA. A partir del siglo XXI, con el desarrollo del internet y de las redes sociales, surge iNaturalist con un sitio web (www.inaturalist.org) donde algunos usuarios han asentado ya la presencia de *X. nelsoni* y han compartido ubicaciones y fotografías del roedor.

La información de las condiciones ambientales de las localidades donde se ha recolectado u observado *X. nelsoni* presentan una temperatura promedio anual de 25°C y una precipitación total anual promedio de 890 mm, con un patrón de precipitación marcadamente estacional, ya que el cuatrimestre más lluvioso tiene un promedio de 604.37 mm de precipitación, mientras que el cuatrimestre más seco no presenta lluvia (Tabla 1). Estos patrones corresponden al subgrupo climático cálido Aw, de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificado por García (1988). Estos datos podrían ser estudiados para analizar si las tolerancias de la especie a ciertas condiciones climáticas podrían impactar en su distribución geográfica, ya que se estima que, en el futuro debido al cambio climático, en las zonas de selvas bajas caducifolias de México habrá un incremento en la temperatura y sequías más severas (Curry, 2020). Así, para el año 2070 se espera una reducción significativa (~61 %) del área prevista de selva tropical caducifolia; aunque en algunas zonas podría haber un aumento del área de 3.0-9.0 % (Prieto-Torres et al., 2016).

Los mapas de distribución potencial que se generaron a partir de los algoritmos MaxEnt y GARP muestran áreas con condiciones climáticas idóneas no solamente en los sitios donde hay recolectas u observaciones, sino en áreas en donde no se ha recolectado aún la especie; por ejemplo, al norte de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala y en zonas que forman parte de la provincia fisiográfica Sierras de la costa de Jalisco y Colima. También en algunos sitios en el estado de Michoacán, particularmente en la provincia fisiográfica Costas del

Sur. En ambas provincias las condiciones climáticas y de tipo de vegetación son similares a los sitios donde se ha recolectado y presentan condiciones idóneas de acuerdo con el nicho ambiental de la especie (Fig. 2), aunque sería importante conocer la composición botánica y la fisionomía de las selvas en los sitios. El hecho de que el área de distribución potencial predicha resultó ser mayor al área de distribución conocida a partir de los registros, puede ser explicado por: 1) los modelos no consideran factores como las interacciones biológicas (Ferrier & Guisan, 2006), 2) exista un sesgo en los sitios de muestreo (las recolectas han sido realizadas en sitios cercanos a la localidad tipo, así como en la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala), 3) no hay una intención específica para tomar registros de especies que presentan hábitos arborícolas, entre otros factores. En este sentido, los modelos de nicho ecológico permiten llenar esos vacíos del conocimiento con mayor confiabilidad (Soberón & Peterson, 2005), por lo que los sitios predichos por las proyecciones espaciales/geográficas de los modelos podrían servir de guía para la verificación de presencia de la especie en campo (Villaseñor & Téllez-Valdés, 2004), pues es probable que ésta se encuentre en lugares aún inexplorados, tal como lo sugiere Cervantes-Reza & Montaña-Sosa (2019) o Núñez-Garduño (2005) para el caso del estado de Michoacán.

Además, el área de distribución potencial calculada también puede servir para analizar el estado de conservación y riesgo de las especies. Los resultados obtenidos a partir de la estimación de la EOO tomando en cuenta los criterios B de la IUCN y A de la NOM confirman que *X. nelsoni* es de distribución restringida y debe estar en la categoría de “En peligro”. En este sentido existen diversos factores que ponen en riesgo a sus poblaciones, por ejemplo, las zonas de selva baja caducifolia se han modificado como consecuencia del cambio de uso del suelo, principalmente por actividades agrícolas, sobrepastoreo y al aumento de asentamientos humanos (Jaramillo et al., 2010). Las selvas caducifolias del Pacífico mexicano que se encuentran en buen estado de conservación



sólo cubren una cuarta parte de la superficie de su distribución original, lo que indica una alarmante desaparición y transformación de ese ecosistema (Ceballos et al., 2010). Como consecuencia, las poblaciones de especies de roedores de hábitos específicos como los arborícolas, se han ido reduciendo y van quedando aisladas, lo que puede ponerlas en riesgo de extinción (Sánchez Hernández et al., 2016). En el caso de *X. nelsoni*, el área de distribución potencial predicha se redujo cerca de un 50 % al considerar el estado actual de la vegetación, que en gran parte se ha convertido en plantaciones de cítricos, palmera y plátano (Cervantes-Reza & Montaña-Sosa, 2019). De hecho, 14 de las 26 localidades de registro ya no cuentan con selva baja conservada, como es el caso de la localidad tipo “Hacienda Magdalena” hoy Pueblo Juárez, que actualmente es un poblado de 2 477 habitantes rodeado de cultivos y de vegetación secundaria (INEGI, 2010).

Por todo lo anterior, se puede concluir que, pese a los esfuerzos de garantizar la preservación y conservación de la biodiversidad por medio de Áreas Naturales Protegidas, éstas resultan aún insuficientes para garantizar la protección de *X. nelsoni*, debido a que el análisis realizado muestra una baja representatividad del área de distribución potencial dentro de las ANP. En la actualidad menos del 2 % de su área de distribución está protegida por la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (RBCC), la cual es la única reserva en la costa de Jalisco, y una de las pocas Reservas de la Biosfera destinadas a la protección de las selvas secas en México (Ceballos et al., 2010), el resto de las ANP en donde podría estar la especie, son pequeñas, y de acuerdo con el Informe Nacional Forestal Serie VI presentan algún grado de manejo antropogénico. Estas condiciones al parecer no son las adecuadas para las poblaciones del roedor ya que los reportes de recolecta mencionan que esta especie requiere un dosel cerrado y una alta densidad de árboles de entre 5 y 10 m. de altura, así como gran cantidad de enredaderas leñosas, que se utilizan como elementos para trasladarse y huir (Ceballos et al., 2002; Cervantes-Reza & Montaña-Sosa, 2019; Schaldach,

1960). Esta falta de conectividad entre los fragmentos de selva baja caducifolia conservada puede afectar la viabilidad de la especie. Por lo tanto, dada la vulnerabilidad actual de la especie, así como la de su hábitat, se requiere mayor monitoreo y búsqueda de las poblaciones de *X. nelsoni*. Otra acción positiva para la conservación de esta especie sería la creación de nuevas ANP que conserven selvas aledañas y aumenten la conectividad de los parches de hábitat, para evitar que las reservas queden aisladas donde la variabilidad de la especie se depaupere.

Declaración de ética: los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa, por el otorgamiento del financiamiento económico del proyecto Divisional “Diversidad ambiental, diversidad biológica y cambio climático: implicaciones para la conservación (Fase 2)”. Al Biol. Rafael Bárba Álvarez y a cuatro revisores anónimos cuyas correcciones mejoraron el manuscrito.

REFERENCIAS

- Ballesteros-Barrera, C., Aguilar-Romero, O., Téllez-Valdés, O., & López-Jardines, J. (2016). *Xenomys nelsoni* (rata arborícola). *Distribución potencial* (Ed. 1). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Ciudad de México, México. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/biodiv/distpot/dpmamif/dpmrodent/xne053dpgw
- Bland, L. M., Keith, D. A., Miller, R. M., Murray, N. J., & Rodríguez, J. P. (2016). *Directrices para la aplicación de las Categorías y Criterios de la Lista Roja de Ecosistemas de IUCN* (Versión 1.0). IUCN.

- Bradley, R. D., Edwards, C. W., Lindsey, L. L., Bateman, J. R., Cajimat, M. N. B., Milazzo, M. L., Fulhorst, C. F., Matocq, M. J., & Mauldin, M. R. (2022). Reevaluation of the phylogenetic relationships among Neotomini rodents (*Hodomys*, *Neotoma*, and *Xenomys*) and comments on the woodrat classification. *Journal of Mammalogy*, 103, 1221–1236.
- Brown, J. L. (2014). SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(7), 694–700.
- Castellanos, Y. D., López, F. P., & González, G. C. (2007). Uso de hábitat de los roedores arborícolas en Chamela, Jalisco. *Revista Mexicana de Mastozoología (Nueva Época)*, 11, 21–33. <https://doi.org/10.22201/ie.20074484e.2007.11.1.126>
- Ceballos, G. (1989). *Population and community ecology of small mammals in a tropical deciduous forest in western Mexico* (Ph.D. dissertation). University of Arizona, Tucson, USA.
- Ceballos, G. (1990). Comparative natural history of small mammals from tropical forest in western Mexico. *Journal of Mammalogy*, 71, 263–266.
- Ceballos, G. (2014). *Xenomys nelsoni*: In G. Ceballos (Ed.), *Mammals of Mexico* (pp. 438–440). Johns Hopkins University Press.
- Ceballos, G., Zarza, H. & Steele, M. A. (2002). *Xenomys nelsoni*. *Mammalian Species*, 704, 1–3.
- Ceballos, G., Blanco, S., González, C., & Martínez, E. (2006). *Xenomys nelsoni* (*Rata arboricola*) delimitada, con base al Atlas Mastozoológico de México. *Distribución potencial*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/biodiv/distpot/dpmamiff/dpmrodent/xennelso_agw
- Ceballos, G., García, A., Salazar, I., & Espinoza, E. (2010). Conservación de los vertebrados de selvas secas: patrones de distribución, endemismo y vulnerabilidad. In G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury Creel, & R. Dirzo (Eds.), *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México* (pp. 369–386). FCE de México/CONABIO.
- Ceballos, G., & Miranda, A. (2000). *A field guide to the mammals from the Jalisco coast*. Fundación Ecológica de Cuixmala-Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cervantes, F. A., & Ballesteros-Barrera, C. (2012). Prólogo. In F. A. Cervantes y C. Ballesteros-Barrera (Eds.), *Estudios Sobre Biología de Roedores Silvestres Mexicanos* (pp. XI–XII). Universidad Nacional Autónoma de México-Universidad Autónoma Metropolitana.
- Cervantes-Reza, F. A., & Montaña-Sosa, P. (2019). Rata de Magdalena: un importante mamífero mexicano, poco conocido y en riesgo de extinción. *Revista Digital Universitaria*, 20, 1–17. <http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n5.a2>
- CONABIO. (2020). *Áreas Naturales Protegidas Estatales, Municipales, Ejidales, Comunitarias y Privadas de México 2020*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/anpest20gw.html>
- Cuervo-Robayo, A. P., Téllez-Valdés, O., Gómez-Albores, M. A., Venegas-Barrera, C. S., Manjarrez, J., & Martínez-Meyer, E. (2014). An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology*, 34, 2427–2437. <https://doi.org/10.1002/joc.3848>
- Curry, T. R. (2020). Mexico's Tropical Dry Forests. In A. D. DellaSala, & M. I. Goldstein (Eds.), *The Encyclopedia of Conservation* (pp.1–9). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00007-6>
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (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 30 de diciembre de 2010*. Ciudad de México, México. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (2019). *Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de 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, publicada el 30 de diciembre de 2010*. Ciudad de México, México. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019#gsc.tab=0
- Dorman, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., García Márquez, J. R., Gruber, B., Lafourcade, B., Leittão, P. J., Münkemüller, T., McClean, C., Osborne, P. E., Reineking, B., Schröder, B., Skidmore, A. K., Zurell, D., & Lautenbach, S. (2013). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36, 27–46. <https://10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologist. *Diversity and Distributions*, 17, 43–57.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). (2016). *ArcGIS Desktop: Release 10*. California, USA: Environmental Systems Research Institute. <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/arcgis-desktop/resources>



- Fa, J. E., & Morales, L. M. (1991). Mammals and protected areas in Trans-Mexican Neovolcanic Belt. In M. A. Mares, & D. J. Schmidly (Eds.), *Latin American Mammalogy: History, Biodiversity and Conservation* (pp. 199–226). University of Oklahoma Press.
- Fernández, J. A., Hafner, M. S., Hafner, D. J., & Cervantes, F. A. (2014). Conservation status of rodents of the families Geomyidae and Heteromyidae of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 576–588.
- Ferrier, S., & Guisan, A. (2006). Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology*, 43, 393–404.
- Fischer, J., Lindenmayer, D. B., Nix, H. A., Stein, J. L., & Stein, J. A. (2001). Climate and animal distribution: a climatic analysis of the Australian marsupial *Trichosurus caninus*. *Journal of Biogeography*, 28, 293–304.
- Flores-Jiménez, A., Reyes-López, D., Jiménez-García, D., Romero Arenas, O., Rivera Tapia, J. A., Huerta-Lara, M., & Pérez Silva, A. (2017). Diversidad de *Vanilla* spp. (Orchidaceae) y sus perfiles bioclimáticos en México. *Revista de Biología Tropical*, 65, 975–987.
- Flores-Tolentino, M., Ortiz, E., & Villaseñor, J. L. (2019). Modelos de nicho ecológico como herramienta para estimar la distribución de comunidades vegetales. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90, e902829. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2829>
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. UNAM, Mexico.
- Gaubert, P., Veron, G., Colyn, M., Dunham, A., Shul, S., & Tranier, M. (2002). A reassessment of the distributional range of the rare *Genetta johnstoni* (Viverridae, Carnivora), with some newly discovered specimens. *Mammal Review*, 32, 132–144.
- GBIF.org. (march 2021). *GBIF occurrence download*. <https://doi.org/10.15468/dl.6nfs83>
- Guevara-Chumacero, L. M., López-Wilchis, R., & Sánchez-Cordero, V. (2001). 105 años de investigación mastozoológica en México (1890-1995): una revisión de sus enfoques y tendencias. *Acta Zoológica Mexicana*, 83, 35–72.
- Haiduk, M., Sánchez, C., & Baker, R. (1988). Phylogenetic relationships of *Nyctomys* and *Xenomys* to other cricetine genera based on data from G-banded chromosomes. *The Southwestern Naturalist*, 33, 397–403.
- Hall, E. R. (1981). *The Mammals of North America*. John Wiley & Sons.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Principales resultados por localidad. ITER. <https://www.inegi.org.mx/inegi/terminos.html>
- INEGI-CONABIO-INE (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática –Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto Nacional de Ecología). (2008). *Ecorregiones Terrestres de México*. México. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/ecort08gw.html>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2016). *Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250s6gw.html>
- IUCN Standards and Petitions Committee. (2019). *Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 14. Prepared by the Standards and Petitions Committee*. <http://www.iucnredlist.org/documents/RedListGuidelines.pdf>
- Jaramillo, V., García-Oliva, F., & Martínez-Yrizar, A. (2010). La selva seca y las perturbaciones antrópicas en un contexto funcional. In G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury-Creel, & R. Dirzo (Eds.), *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México* (pp. 235–250). FCE/CONABIO.
- León-Tapia, M. A. (2014). Los roedores múridos de México: los pequeños mamíferos exitosos. *CONABIO. Biodiversitas*, 113, 8–11.
- Lindenmayer, D. B., Nix, H. A., McMahon, J. P., Hutchinson, M. F., & Tanton, M. T. (1991). The conservation of Lleadbeater's possum, *Gymnobelideus leadbeateri* (McCoy): A case study of the use of bioclimatic modeling. *Journal of Biogeography*, 18, 371–383.
- Martín, R. A., & Zakrzewski, R. J. (2019). On the ancestry of Woodrats. *Journal of Mammalogy*, 100, 1564–1582. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz105>.
- Mendoza, A. (1997). *Heterogeneidad ambiental, dinámica de poblaciones y estructura de comunidades de pequeños mamíferos en una selva tropical caducifolia* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36, 1058–1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Merriam, C. H. (1892). Description of a new genus and species of murine rodent (*Xenomys nelsoni*) from the state of Colima, western Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 7, 159–163.
- Merriam, C. H. (1894). A new subfamily of murine rodents -the Neotominae- with description of a new genus and species and a synopsis of the known forms. *Proceedings of the Academy Natural Sciences*

- of *Philadelphia*, 14, 225–252. <https://www.jstor.org/stable/4062115?seq=1>
- Meza-Joya, F. L., Ramos, E., Cediell, F., Martínez-Arias, V., Colmenares, J., & Cardona, D. (2018). Predicted distributions of two poorly known small carnivores in Colombia: the Greater Grison and Striped Hog-nosed Skunk. *Mastozoología Neotropical*, 25, 89–105.
- Muscarella, R., Galante, P. J., Soley-Guardia, M., Boria, R. A., Kass, J. M., Uriarte, M., & Anderson, R. P. (2014). ENMeval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for Maxent ecological niche models. *Methods in Ecology and Evolution*, 5, 1198–1205.
- Musser, G. G., & Carleton, M. D. (2005). Superfamily Muroidea. In D. E. Wilson, & D. A. M. Reeder (Eds.), *Mammal species of the world. A taxonomic and geographic reference* (pp. 894–1534). The Johns Hopkins University Press.
- Narayani, B. (2008). Tool for Partial-ROC (ver 1.0). Biodiversity Institute.
- NMNH. (2021). *NMNH Research and collections*. <https://collections.nmnh.si.edu/search/mammals/>
- Núñez-Garduño, A. (2005). *Los mamíferos silvestres de Michoacán. Diversidad, Biología e Importancia*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.
- Papeş, M., & Gauber, P. (2007). Modelling ecological niches from low numbers of occurrences: assessment of the conservation status of poorly known viverrids (Mammalia, Carnivora) across two continents. *Diversity and Distributions*, 13, 890–902.
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., & Peterson, A. T. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34, 102–117. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x>
- Peterson, A. T., Papes, M., & Soberón, J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*, 213, 63–72.
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Araújo, M. B. (2011). *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press.
- Peterson, A. T., & Soberón, J. (2012). Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Natureza and Conservação*, 10, 102–107.
- Pérez-García, B., & Liria, J. (2013). Modelos de nicho ecológico fundamental para especies del género *Thraulodes* (Ephemeroptera: Leptophlebiidae: Atalophlebiinae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84, 600–611.
- Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31, 161–175.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
- Plasencia-Vázquez, A. H., Escalona-Segura, G., & Esparza-Olguín, L. G. (2014). Modelación de la distribución geográfica potencial de dos especies de psitácidos neotropicales utilizando variables climáticas y topográficas. *Acta Zoológica Mexicana*, 3, 471–490.
- Prieto-Torres, D. A., Navarro-Sigüenza, A. G., Santiago-Alarcón, D., & Rojas-Soto, O. R. (2016). Response of the endangered tropical dry forests to climate change and the role of Mexican Protected Areas for their conservation. *Global Change Biology*, 22, 364–379. <https://doi.org/10.1111/gcb.13090>
- Radosavljevic, A., & Anderson, R. P. (2014). Making better MaxEnt models of species distributions: complexity, overfitting and evaluation. *Journal of Biogeography*, 41, 629–643. <https://doi.org/10.1111/jbi.12227>
- Raxworthy, C. J., Martínez-Meyer, E., Horning, N., Nussbaum, R. A., Schneider, G. E., Ortega-Huerta, M. A., & Peterson, A. T. (2003). Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature*, 426, 837–841.
- Ríos-Muñoz, C. A., Arroyo-Cabrales, J., & León-Paniagua, L. (2014). Historia de la mastozoología en México: de dónde venimos y hacia dónde vamos. In: J. Ortega, J. L. Martínez, & D. G. Tirira (Eds.), *Historia de la mastozoología en Latinoamérica, las Guyanas y el Caribe* (pp 293–314). Editorial Murciélago Blanco y Asociación Ecuatoriana de Mastozoología.
- Sánchez-Cordero, V., Rodríguez, P., Moreno-Almeraya, N., & Jiménez-Cruz, M. (2020). *Xenomys nelsoni* (rata de Magdalena). Distribución Potencial en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Ciudad de México, México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Sánchez-Hernández, C., Romero-Almaraz, M. L., González-Pérez, S. B., Schnell, G. D., Kennedy, M. L., & Best, T. L. (2016). Mamíferos terrestres del estado de Colima. In M. Briones-Salas, Y. Hortelano-Moncada, G. Magaña-Cota, G. Sánchez-Rojas, & J. E. Sosa-Escalante (Eds.), *Riqueza y conservación de los mamíferos en México a nivel estatal* (pp. 221–242). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Asociación Mexicana de Mastozoología, A.C. y Universidad de Guanajuato.
- Scachetti-Pereira, R. (2002). *DesktopGARP: a software package for biodiversity and ecologic research*. The



- University of Kansas Biodiversity Research Center, United States.
- Schaldach, W. (1960). *Xenomys nelsoni* Merriam, sus relaciones y sus hábitos. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 21, 425–434.
- SEMARNAT-CONANP (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2020). *Áreas Naturales Protegidas Federales de México, agosto 2020*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Ciudad de México, México. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/anp2020gw.html>
- CONABIO. (2021). Recuperado de Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) de México. <https://www.snib.mx/>
- Soberón, J., & Peterson, A. T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1–10.
- Spiers, J., Oatham, M. P., Rostant, L. V., & Farrell, A. D. (2018). Applying species distribution modelling to improving conservation based decisions: a gap analysis of Trinidad and Tobago's endemic vascular plant. *Biodiversity and Conservation*, 27, 2931–2949. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1578-y>
- Srivastava, V., Griess, V. C., & Keena, M. A. (2020). Assessing the Potential Distribution of Asian Gypsy Moth in Canada: A Comparison of Two Methodological Approaches. *Nature Scientific Reports*, 10, 22. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57020-7>
- Stockwell, D. R. B., & Noble, I. R. (1991). Induction of sets of rules from animal distribution data: a robust and informative method of data analysis. *Mathematics and Computers in Simulation*, 32, 249–254.
- Su, H., Bista, M. & Mingshi, L. (2021). Mapping habitat suitability for Asiatic black bear and red panda in Makalu Barun National Park of Nepal from MaxEnt and GARP models. *Scientific Reports*, 11, 14135. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93540-x>
- Vázquez, E. (2018). *Xenomys nelsoni*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018>
- Vásquez-Morales, S. G., Téllez-Valdés, O., Pineda-López, M. R., Sánchez-Velásquez, L. R., Flores-Estevez, N., & Viveros-Viveros, H. (2014). Effect of climate change on the distribution of *Magnolia schiedeana*: a threatened species. *Botanical Sciences*, 92, 575–585. <https://doi.org/10.17129/botsci.116>
- VERTNET. (2021). *VertNet*. <http://vertnet.org>
- Villaseñor, J. L., & Téllez-Valdés, O. (2004). Distribución potencial de especies del género *Jefea* (Asteraceae) en México. *Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica*, 75, 205–220.
- Warren, D. L., & Seifert, S. N. (2011). Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications*, 21, 335–342
- Yang, A., Gomez, J. P., & Blackburn, J. K. (2020). Exploring environmental coverages of species: a new variable contribution estimation methodology for rulesets from the genetic algorithm for rule-set prediction. *PeerJ*, 8, e8968 <http://10.7717/peerj.8968>