



Modelo de nicho potencial de las madrigueras de *Gopherus flavomarginatus* en la Reserva de la Biosfera de Mapimí

Potential niche model of *Gopherus flavomarginatus* burrows in the Reserva de la Biosfera de Mapimí

Jorge Luis Becerra-López¹, Ulises Romero-Méndez², José Daniel Anadón-Herrera³ y Cristina García-De La Peña^{2✉}

¹Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Laboratorio de Ecología de Poblaciones, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Carretera Pachuca-Tulancingo, Km. 4.5, Ciudad del Conocimiento, Colonia Carboneras, 42184 Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

²Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Universidad s/n, Fraccionamiento Filadelfia, 35010 Gómez Palacio, Durango, México.

³School of Life Sciences, Arizona State University. Tempe AZ 85287 USA.

✉ cristina.g.delapena@gmail.com

Resumen. La tortuga del Bolsón *Gopherus flavomarginatus* permanece gran parte de su vida dentro de sus madrigueras. Mediante el estudio de las características del hábitat necesarias para la construcción de sus refugios se pueden obtener modelos de nicho potencial relacionados directamente con la presencia de esta especie. En una localidad de la Reserva de la Biosfera de Mapimí con características típicas del hábitat de *G. flavomarginatus* se analizó el patrón de dispersión, densidad, elevación, edafología, vegetación, aspecto y pendiente de 151 madrigueras registradas. Se desarrollaron modelos de nicho potencial de las madrigueras con los programas Maxent y ArcMap. Se registraron 2 zonas grandes de alta probabilidad de madrigueras, 1 localizada al oeste de la reserva y la otra al este. El modelo propuesto en este trabajo muestra que las poblaciones de *G. flavomarginatus* construyen sus madrigueras en zonas que bordean los grandes escurrimientos fluviales y que se distribuyen de una manera agrupada a lo largo de la reserva. Con los modelos generados en este estudio se podrán ajustar las áreas en que se presenta el hábitat necesario para la construcción de madrigueras de *G. flavomarginatus*. El manejo adecuado y conservación de esas áreas beneficiará directamente la propia conservación de la especie.

Palabras clave: hábitat, dispersión, densidad, Maxent, ArcMap, conservación.

Abstract. Bolsón tortoises, *Gopherus flavomarginatus*, spend much of their lives in burrows. Understanding the habitat characteristics where they construct their burrow shelters is necessary to develop potential niche models identifying constraints that may influence the distribution of this species. We analyzed dispersion pattern, density, elevation, soil, vegetation, slope, and the aspect of 151 registered *G. flavomarginatus* burrows at the Reserva de la Biosfera de Mapimí. Potential burrow niche models were developed with Maxent and ArcMap software. There were 2 large areas of high probability for burrows, 1 located west and the other to the east of the reserve. The models developed in this study showed that *G. flavomarginatus* populations tended to build their burrows in areas bordering the large pluvial deposition extents and have a clustered distribution along the Reserve. Models generated in this study should work to identify critical habitat areas required for *G. flavomarginatus* to construct burrows. The proper management and conservation of these areas will directly benefit the conservation of this species.

Key words: habitat, dispersion, density, Maxent, ArcMap, conservation.

Introducción

La tortuga *Gopherus flavomarginatus* es una especie catalogada como en peligro de extinción por la Norma Oficial Mexicana 059 (Semarnat, 2010) y considerada como vulnerable en la Lista Roja de la Unión Internacional

para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés, 2011). Su distribución geográfica histórica comprende el noreste de México (Reptile-DataBase, 2013), siendo endémica de una serie de cuencas aisladas y discontinuas conocidas colectivamente como el Bolsón de Mapimí en el desierto chihuahuense. Actualmente se encuentra confinada a unos cuantos sitios de la Reserva de la Biosfera de Mapimí y sus alrededores, por lo que sus poblaciones presentan una crisis genética por el

aislamiento al que están sometidas (Ureña-Aranda y De los Monteros, 2012).

Esta especie de tortuga utiliza madrigueras como refugio ante las temperaturas extremas, así como para evitar a los depredadores, para el cortejo y la anidación. Los adultos pasan el 99% de su vida dentro de sus madrigueras y permanecen sólo el 1% en la superficie (Adest et al., 1989). Cada individuo presenta una fidelidad alta por el uso de su madriguera, ya que sigue rutas de viaje conocidas y puede volver al mismo sitio de anidación en años sucesivos (Lovich y Daniels, 2000; Daren-Riedle et al., 2008). Estas características hacen posible el estudio de patrones de dispersión y distribución geográfica de *G. flavomarginatus* de manera indirecta mediante la modelación del nicho potencial con base en sus madrigueras. Este modelo utiliza interpolaciones y extrapolaciones para obtener valores de una variable de interés en una ubicación donde no se tienen registros (Krivoruchko, 2012). Existen 2 maneras para estimarlo: la medición directa o modelado físico de las respuestas de los individuos a variables físicas: temperatura, humedad, entre otras; y a partir de la inferencia de los valores de la aptitud de diferentes combinaciones de variables físicas (Martínez-Meyer y Sánchez-Cordero, 2006). En los últimos años se han desarrollado diferentes algoritmos en programas computacionales para modelar el nicho de una especie. Algunos de ellos se basan sólo en datos de presencia; por ejemplo, Maxent y ArcMap; los cuales tienen una enorme utilidad en la ciencia básica y aplicada de la biodiversidad (Anderson, 2012).

En este trabajo se determinó el patrón de dispersión de las madrigueras de *G. flavomarginatus* y se calculó la densidad por hectárea en una localidad con características típicas de su hábitat natural, localidad Tortugas. Además, se registraron las variables de la elevación, edafología, vegetación, aspecto y pendiente de esas madrigueras mediante sistemas de información geográfica para incluirlas junto con variables ambientales, obtenidas de distintas fuentes, en los modelos de nicho potencial dentro de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Con esta información se establecerán aquellas áreas en las que las tortugas potencialmente puedan construir una madriguera y se definirá qué se propone para ser excluidas de cualquier actividad humana en esta reserva para el beneficio de la conservación de *G. flavomarginatus*.

Materiales y métodos

Área de estudio. La Reserva de la Biosfera de Mapimí cuenta con una superficie aproximada de 342 388 ha y se ubica dentro de la región conocida como Bolsón de Mapimí (Fig. 1). La reserva abarca parte de los municipios de Tlahualilo y Mapimí en el estado de Durango, así como

Jiménez en Chihuahua y sierra Mojada en Coahuila. Se localiza a una elevación entre 1 000 y 1 200 m snm en las partes bajas, alcanzando 2 000 m los cerros más altos, con numerosos relieves de origen volcánico o calcáreo, además de ciertas zonas de acumulación de arena que conforman dunas (Semarnat, 2000; Ramírez-Carballo et al., 2005). La temperatura promedio anual es de 25.5° C y predomina un clima desértico semicálido con lluvias de verano (junio a septiembre), con un promedio de precipitación de 145.88 mm (1993-2003). La vegetación predominante son los matorrales rosetófilo y micrófilo, así como la vegetación halófila y gipsófila. Los suelos predominantes son del tipo yermosol, regosol, xerosol, litosol, solonchack y fluvisol (García y Martínez, 2004).

Obtención de datos de las madrigueras. Se estableció 1 km² en la localidad Tortugas (Fig. 1) que se encuentra en el centro-sur del polígono de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Esta área fue dividida en franjas de 100 m de ancho orientadas hacia el norte, con lo que se obtuvo un total de 10 franjas de 1 km de longitud. Se realizó un barrido de cada franja por parte de un equipo de 7-10 personas, con la finalidad de encontrar el mayor número de madrigueras, las cuales se referenciaron geográficamente con GPS.

Análisis de datos de las madrigueras de la localidad Tortugas. Se calculó el índice de dispersión a partir de las madrigueras localizadas mediante el programa ArcMap 9.3.1. (ESRI, 2008). Se utilizó la herramienta Analyzing Pattern de la extensión Spatial Statistics Tool. El cálculo se procesó mediante el índice del vecino más cercano que se basa en el promedio de las distancias euclidianas de cada punto a su colindante más próximo. Para estimar la densidad de las madrigueras, en un mapa con las georreferencias se trazaron de manera aleatoria 30 transectos de 20 m de ancho por 1 000 m de largo, empleando el método de transectos en banda por observación directa (Eberhardt, 1968). La densidad fue calculada mediante la fórmula propuesta por Ralph (1981) para cada transecto: $D = n / 2wL / 10\ 000$, donde D= densidad, n= número de individuos observados, W= mitad del ancho de la banda y L= largo del transecto. Una vez calculada la densidad para cada transecto, se calculó el promedio de densidad por hectárea.

Modelo de nicho potencial actual de las madrigueras de *Gopherus flavomarginatus*. Se cuantificaron las variables de elevación, edafología, vegetación, aspecto y pendiente de las madrigueras de la localidad Tortugas empleando sistemas de información geográfica. Los datos obtenidos se ordenaron en forma de tabla de frecuencia para realizar un análisis de selección de hábitat. Posteriormente, se utilizaron en los modelos de nicho potencial para ponderar las capas en el solapamiento y la reclasificación de los valores. Para modelar el nicho potencial actual de *G.*

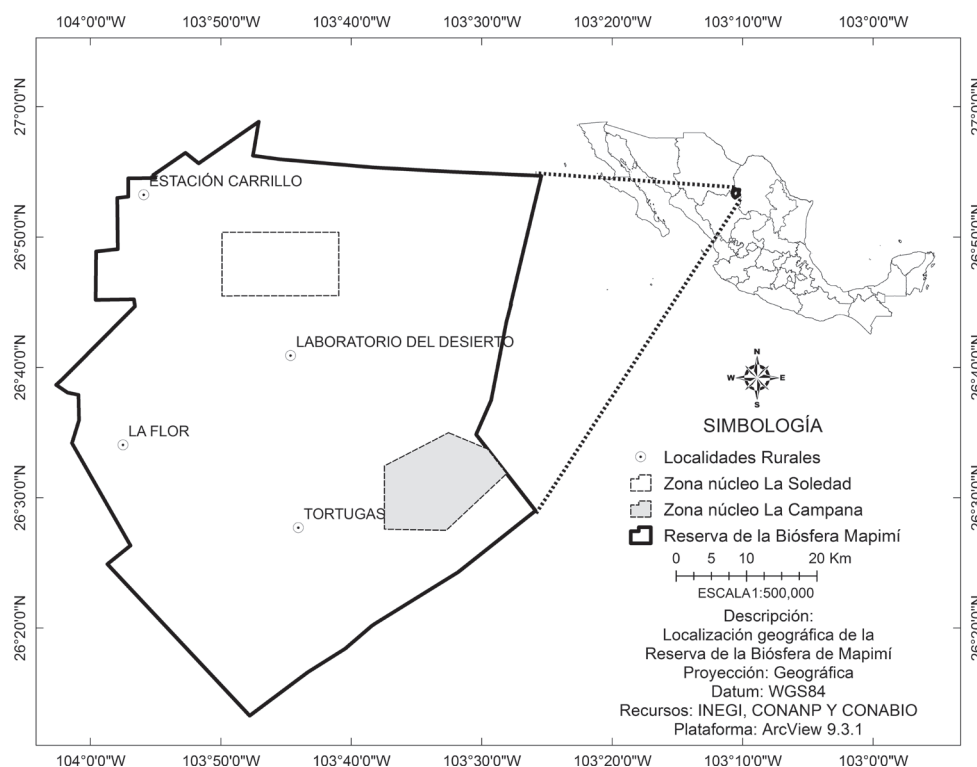


Figura 1. Localización geográfica de la Reserva de la Biosfera de Mapimí.

flavomarginatus se utilizaron 2 programas: Maxent 3.3.3 k (Phillips et al., 2004) y ArcMap 9.3.1 (ESRI, 2008). En ambos casos se utilizaron 25 variables ambientales: 19 coberturas tipo raster obtenidas de Worldclim (Hijmans et al., 2006), una cobertura vectorial y una raster, vegetación y elevación, obtenidas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi, 2013), una cobertura de uso de suelo y vegetación obtenida del portal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio, 1998) y 9 registros únicos con referencia geográfica de latitud y longitud obtenidos de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas Conanp (2013). En el programa Maxent se utilizaron los datos georreferenciados de las 151 madrigueras de la localidad Tortugas, pues este algoritmo requiere de muestras grandes. Las capas vectoriales se convirtieron a formato raster (≈ 350 m por pixel) con la extensión “Converter” de ArcMap, tomando los mismos parámetros de resolución espacial y extensión que la capa de elevación (Inegi, 2013), la cual se utilizó como máscara con la extensión del polígono de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. La preparación del corte y la resolución de las coberturas raster se realizó con la extensión “MaxentTools v9.2” de Arctoolsbox, en donde se igualaron el tamaño de pixel (350×350 m) y la extensión de todas las coberturas del modelo. Se añadieron los valores de las 25 variables

ambientales a la tabla de los 9 puntos geográficos con la extensión “Extract value to point” de ArcToolBox del programa ArcMap y se grabaron los valores a la tabla de puntos geográficos de donde se extrajeron los intervalos de tolerancia: máximos y mínimos, e intervalos de frecuencias de las variables elevación, edafología, vegetación, aspecto y pendiente de las madrigueras. La tabla de atributos con los datos ambientales se utilizó para realizar un análisis de correlación bivariada y eliminar aquellas variables que no aporten al modelo o que tengan una alta correlación ($r > 7.5$).

Modelo con Maxent. Para modelar el nicho potencial mediante el programa Maxent, se utilizaron los parámetros especificados por Contreras-Medina et al. (2010) con algunas modificaciones, ya que sólo se generaron 10 réplicas, destinando el 70% de los registros puntuales de la especie para generar el modelo y el 30% restante como datos para la evaluación. Se utilizó la técnica de validación cruzada que consiste en replicar los datos para la elaboración del modelo de comparación y verificar la precisión. Los parámetros utilizados para obtener el modelo fueron el multiplicador de regularización= 1, número máximo de puntos de fondo= 10 000, límite de convergencia= 0.00001 y número máximo de repeticiones= 500.

Modelo con ArcMap. El nicho se modeló mediante una superposición aditiva de capas raster, con las cuales se delimitan las localidades de nicho potencial de una especie con base en el conocimiento de sus límites o rangos de tolerancia ambiental (ESRI, 2012). A estos últimos se les da una ponderación de acuerdo con la importancia de la capa y la abundancia de puntos sobre el polígono y se extraen las celdas de las capas raster siguiendo una búsqueda lógica. Las capas de salida contienen sólo los valores de las celdas o píxeles extraídos de la capa de entrada y las capas de salida son las que se usan en el proceso de superposición.

El modelo se calibró utilizando un mapa de distribución histórica con 28 puntos georreferenciados de la especie (Fig. 2), 9 puntos georreferenciados obtenidos de la Conanp (2013) y 19 puntos georreferenciados obtenidos de Gatica y Aguirre (2010). Los 28 puntos del mapa de distribución histórico se evaluaron geográficamente utilizando el programa Google Earth® para depurar información imprecisa de la distribución de los puntos georreferenciados. Posteriormente, se realizó un análisis de concordancia visual contrastando el mapa histórico y el modelo de nicho potencial actual. De esta forma, se obtuvo el mapa de mejor ajuste.

Para determinar la precisión de los 2 modelos, se tomó como referencia el área bajo la curva (AUC) obtenida por medio de curvas ROC. En ArcMap, además de la curva ROC se obtuvo la precisión del modelo en porcentaje utilizando el valor indicador que resultó del proceso de validación cruzada, relacionando el total de puntos surgidos de la validación cruzada y el total de puntos positivos en el indicador. Para determinar la variable; elevación, edafología, vegetación, aspecto y pendiente de las madrigueras; que más aporta al modelo, se utilizó el cuadro de estimaciones de las contribuciones relativas de las variables ambientales del modelo Maxent. Para definir la primera estimación en cada iteración del algoritmo de entrenamiento, el aumento en la ganancia de regularizados se agrega a la contribución de la variable correspondiente, o se resta de ésta si el cambio en el valor absoluto de lambda es negativo.

Resultados

De acuerdo con el índice de dispersión del vecino más cercano (0.74), se determinó un patrón de dispersión agregado para el conjunto de las 151 madrigueras registradas en la localidad Tortugas ($z = -5.94$, $p < 0.0001$;

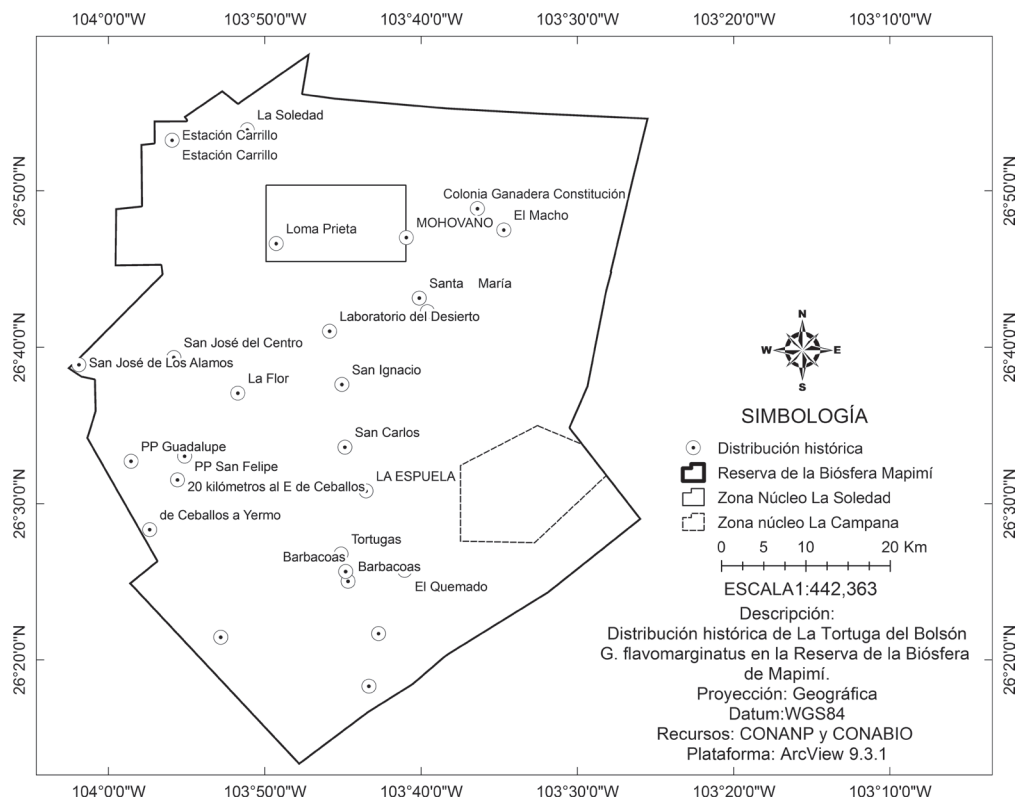


Figura 2. Distribución histórica de *Gopherus flavomarginatus* en la Reserva de la Biosfera de Mapimí.

Fig. 3). La densidad absoluta fue de 1.75 madrigueras/ha para la localidad Tortugas.

El 16.5% de las madrigueras se encontraron distribuidas en elevaciones de 1 130 a 1 133 m snm, un 78% de 1 134 a 1 138 m snm y un 4.7% de 1 139 a 1 140 m snm. El 90.7% de las madrigueras se encontraron distribuidas en pendientes de 0.00 a 1.31° de inclinación, mientras que el 9.3% se encontraron de 1.45 a 2.21. El 92% de las madrigueras se distribuyeron en laderas orientadas hacia el norte (32 madrigueras) y suroeste (107 madrigueras) de 0.00 a 270°, y un 8% fueron encontradas en laderas orientadas hacia el noroeste (7 madrigueras) de 278.13 a 315°.

Se registró un solo tipo de vegetación para la localidad Tortugas: matorral desértico micrófilo. Tomando en cuenta las 9 localidades proporcionadas por Conanp (2013), se registró el matorral desértico micrófilo, el pastizal halófilo y vegetación de desiertos arenosos. El 92.1% de las madrigueras (139) se encontraron en el tipo de suelo SCadso+LV yeso+CL yeso/2, el 6.6% (10) en SCyeso+LV yeso+GY yeso/3 y el 1.3% (2) en RGca+CL yeso/2R.

Las variables que resultaron de mayor importancia para el modelo fueron la elevación, la edafología y la vegetación (Cuadro 1). El modelo de nicho potencial en Maxent presentó un área bajo la curva (AUC) de 0.996,

mientras que en ArcMap fue de 0.999. La precisión del modelo de nicho potencial en ArcMap fue de 99% según el análisis del indicador de la validación cruzada. El análisis de concordancia visual entre el modelo ArcMap y la distribución histórica dio una precisión de 96.42%, tomando en cuenta todas las áreas de probabilidad. Considerando sólo las áreas de máxima probabilidad se calculó un 82.14% de precisión. En Maxent resultó el 85.71% de precisión, tomando en cuenta todas las áreas de probabilidad y 10.71% considerando las áreas de máxima probabilidad. El modelo de nicho potencial actual

Cuadro 1. Estimaciones de contribuciones relativas de las variables ambientales al modelo de nicho potencial de las madrigueras de *Gopherus flavomarginatus* obtenidas en Maxent

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia en la permutación
Elevación	37.6	5.7
Edafología	28.5	33.2
Vegetación	21.2	58.3
Aspecto	11.1	1.5
Pendiente	1.7	1.2

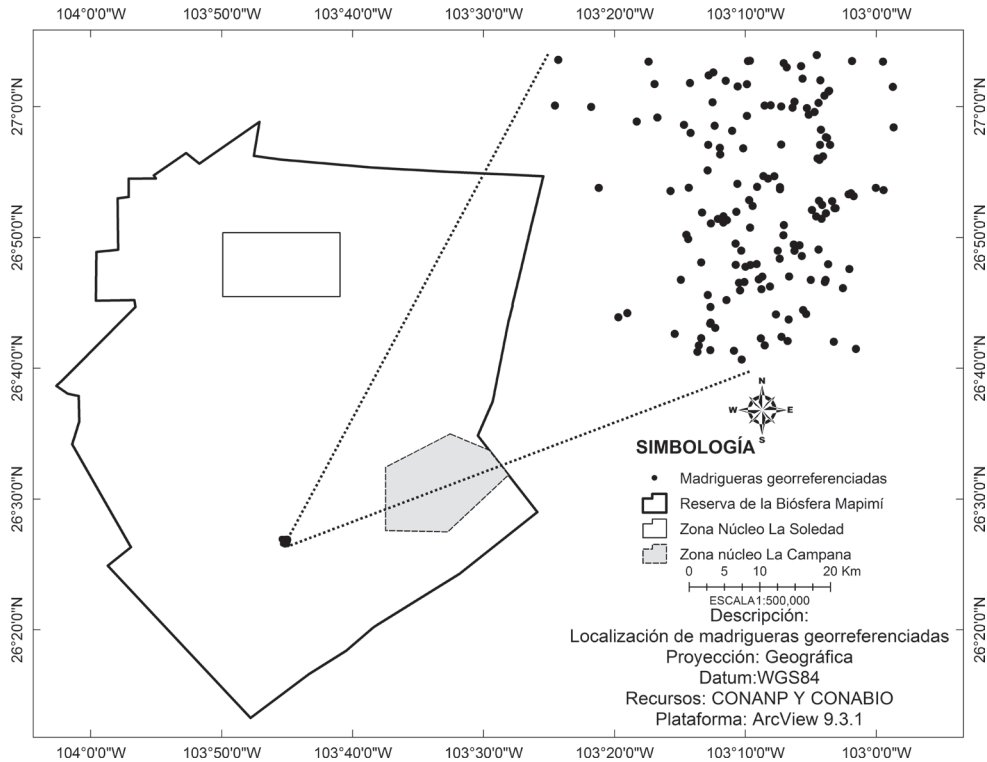


Figura 3. Madrigueras georreferenciadas de *Gopherus flavomarginatus* en la Reserva de la Biosfera de Mapimí.

en ArcMap (Fig. 4), registró un área encerrada total de 1 739.78 km². A partir del modelo de nicho potencial se calcularon un total 2 656 localidades de nicho potencial en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, es decir, potencialmente puede haber 2 656 madrigueras de tortugas en la reserva. Con el modelo Maxent se observó que las zonas de máxima probabilidad forman 2 grandes franjas que recorren la reserva longitudinalmente: una franja localizada al oeste que cruza la localidad rural conocida como La Flor, y la otra, se localiza al este de la reserva y cruza la localidad Tortugas (Fig. 5). Las zonas de máxima probabilidad suman 560.103 km².

Discusión

Se determinó un patrón de dispersión agregado de las madrigueras de la tortuga *G. flavomarginatus* que sugiere una asociación positiva entre los miembros de la población (Krebs, 2001). Aguirre et al. (1984) y Bury et al. (1988) mencionan que las madrigueras en el área de Tortugas en la Reserva de la Biosfera de Mapimí parecen estar relacionadas con la vegetación de tipo matorral (*Larrea tridentata* y *Prosopis glandulosa*) y pastizal (*Hilaria*

mutica). Aresco y Guyer (1999) comentan que los cambios en la cobertura vegetal alrededor de las madrigueras de la tortuga *G. polyphemus* pueden dar como resultado el abandono de éstas en ciertos hábitats. Esto sugiere que la selección de microhábitats para establecer la madriguera puede estar influenciada por el tipo de vegetación. En este trabajo la variable vegetación fue una de las que más contribuyó en el modelo.

En este trabajo se contaron 151 madrigueras dentro de 1 km² y se calcularon 1.75 madrigueras/ha, en la localidad Tortugas. En el presente trabajo se calcularon 2 656 madrigueras para una zona que abarca 1 739.78 km² que representa el 50.6% de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Esto indica que las diferencias en tipo de vegetación, elevación y edafología ejercen influencia en el número de madrigueras de cada población. Según Morafka (1982), *G. flavomarginatus* se puede encontrar a elevaciones entre 1 000 y 1 300 m. En este trabajo se encontraron elevaciones que van de 1 130 a 1 140. Sin embargo, se tomaron en cuenta los puntos registrados por Conanp (2013), donde se registraron elevaciones que van desde 1 102 m snm hasta 1 171 m snm. Se registró que la elevación es una variable muy importante en la

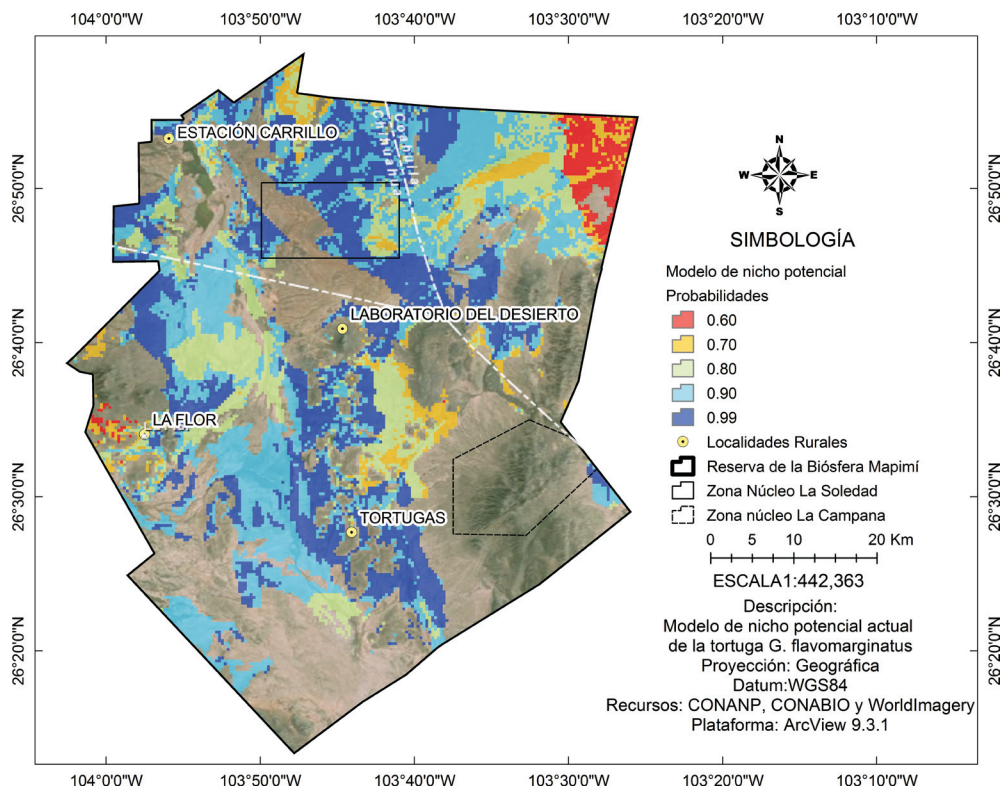


Figura 4. Modelo de nicho potencial de las madrigueras de *Gopherus flavomarginatus* en la Reserva de la Biosfera de Mapimí realizado en ArcMap.

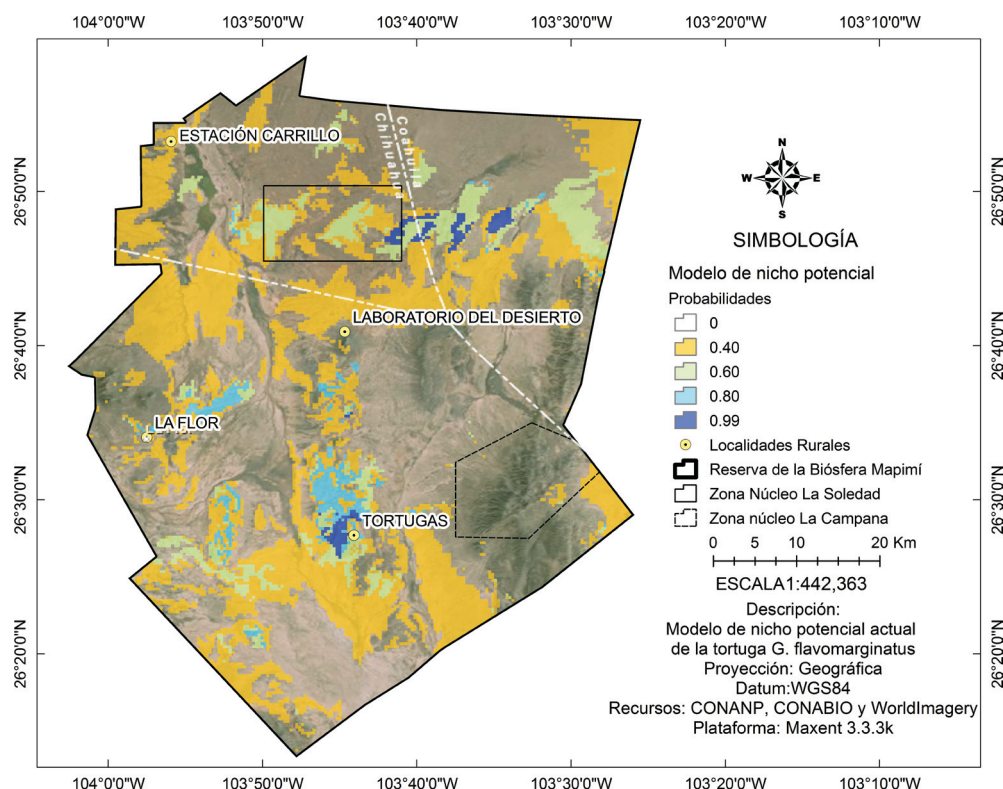


Figura 5. Modelo de nicho potencial de las madrigueras de *Gopherus flavomarginatus* en la Reserva de la Biosfera de Mapimí realizado en Maxent.

distribución del nicho potencial de *G. flavomarginatus*. Legler (1959) la describió como la tortuga que vive a los márgenes de los escurrimientos o ríos, lo cual supone que hace sus madrigueras en lomeríos a los márgenes de los escurrimientos fluviales para evitar la inundación de sus madrigueras, lo que corresponde con los resultados de este trabajo. Al utilizar los datos surgidos de los 9 puntos georreferenciados por Conanp (2013), junto con los 151 puntos de las madrigueras tomados en campo, el modelo resultó muy estrecho y no correspondía con los 28 puntos de referencia. Se decidió usar los datos de los resultados de Morafka (1982) delimitando la elevación a 1 300 m snm, con lo cual se afinó la correspondencia entre puntos históricos y zonas de máxima probabilidad del modelo de nicho potencial.

Lieberman y Morafka (1988) documentaron que los suelos con tamaño de grano intermedio, buen drenaje y pendientes ligeras parecen tener la mayor cantidad de madrigueras de *G. flavomarginatus*, las cuales están ausentes de las partes más altas donde la inclinación de las pendientes es de más de 2.5 o 3°. En este trabajo la pendiente es una de las variables que menos aportan al modelo, pero delimita la densidad de las madrigueras, a las cuales se

les encuentra bordeando las zonas de los escurrimientos. La pendiente registrada de 0 a 2.21 dibuja un rango muy estrecho que provocaba que el modelo de nicho potencial no correspondiera con el mapa de distribución histórica, por lo que se tomó el rango de pendientes de Morafka (1982) que va de 0° a 3° de inclinación, con lo cual la correspondencia fue más afín.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran similitudes con lo encontrado por los autores ya mencionados, en donde la selección de tipo de suelo, elevación, inclinación de la pendiente y orientación de la ladera aparentemente son factores determinantes para la presencia o ausencia de madrigueras. De acuerdo con lo observado en el área de estudio, la preferencia de *G. flavomarginatus* para construir sus madrigueras en orientaciones de la ladera con dirección suroeste, presumiblemente está asociado con los escurrimientos fluviales (arroyos), los cuales presentan una dirección que va de este a oeste y, con ello, probablemente disminuye la posibilidad de inundación de las madrigueras en temporada de lluvia. Asimismo, esta preferencia implica ventajas térmicas de la estructura, tomando como referencia que elegir laderas con orientación suroeste ofrece a las

madrigueras una mayor exposición al sol durante el ocaso, lo cual favorece su termorregulación.

Según Morafka (1982) el zacate toboso es uno de los vegetales que más consume la tortuga del Bolsón y se puede suponer que las poblaciones más densas de esta especie se pueden encontrar en las áreas denominadas como “zona de transición eólica fluvial con arcos de vegetación y matorral abierto” (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995), dominado por *H. mutica*, *Opuntia rastrera*, *P. glandulosa*, *L. tridentata*, *Sporolobus spiciformis* y *Sida leprosa*.

En este trabajo las tortugas tuvieron una preferencia por el tipo de suelo SOLONCHACK-(arídico-sódico)+LUVISOL-(yémico-sódico)+CALCISOL-(yémico-sódico)/con textura media, con presencia de 139 madrigueras que representan el 92.1% del total. También se encontraron 10 madrigueras en el tipo de suelo SCyeso+LV yeso+GY yeso/3 y 2 madrigueras en RGca+CL yeso/2R. Lo anterior sugiere que la tortuga del desierto puede estar utilizando diferentes tipos de suelo, pero en donde mayormente se le encuentra es el que está asociado a los márgenes de los escurrimientos fluviales.

Martínez-Cárdenas (2006) realizó un modelo de nicho potencial actual utilizando el modelo D² (distancias de Mahalanobis) y calculó un área de nicho potencial actual con un área encerrada de 2 571.85 km² lo que corresponde al 45% de área total de la reserva. En este estudio se calculó un área encerrada con el modelo de nicho potencial actual en ArcMap de 1 739.78 km², un área encerrada más cercana a lo inferido por Morafka (1982) que calculó un área de 2 000 km². De acuerdo con el análisis de concordancia visual entre el modelo y las localidades conocidas, el modelo realizado por Martínez-Cárdenas (2006) tuvo una precisión de 85.71%. El modelo generado en el presente estudio con ArcMap tuvo una precisión de 96.42%. Se infiere que las 28 localidades georreferenciadas de *G. flavomarginatus* deberían caer en zonas de alta precisión, pues son áreas donde se sabe que existe la tortuga, así que se realizó la comparación y resultó que el modelo de Mahalanobis tuvo un 35.71% y el modelo realizado con ArcMap tuvo un 82.14% de precisión. Tomando en cuenta sólo las áreas de máxima precisión a partir del modelo de nicho potencial se calcularon un total 2 656 localidades potenciales en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, es decir, puede haber 2 656 madrigueras de tortugas en la reserva. Esto concuerda con los cálculos de Gatica y Aguirre (2010) quienes estimaron 2 000 tortugas para esta reserva.

Según el modelo de nicho potencial realizado en Maxent se registraron 2 grandes zonas de alta probabilidad de madrigueras: una localizada al oeste de la reserva y la otra al este. El modelo surgido en este trabajo muestra que las poblaciones de *G. flavomarginatus* construyen sus madrigueras en zonas que bordean los grandes

escurrimientos fluviales y que se distribuyen de una manera agrupada a lo largo de la reserva. La calibración de mapas mediante el análisis de concordancia visual, comparando las localidades conocidas no incluidas en el modelo y el modelo generado, es un método alternativo para establecer la precisión de los modelos de una manera sencilla.

En conclusión, con la información de nicho potencial de las madrigueras de *G. flavomarginatus* generada en este estudio se podrán ajustar las áreas en que se presenta el hábitat necesario para la construcción de madrigueras. El manejo adecuado y conservación de esas áreas beneficiará directamente la conservación de la especie.

Agradecimientos

A la Conanp, encargada de la administración de la Reserva de la Biosfera de Mapimí, así como a sus locatarios por todas las facilidades proporcionadas para llevar a cabo este trabajo.

Literatura citada

- Adest, G. A., G. Aguirre-León, D. J. Morafka y J. V. Jarchow. 1989. Bolsón tortoise (*Gopherus flavomarginatus*) conservation: I. Life history. *Vida Silvestre Neotropical* 2:7-13.
- Aguirre, G., G. A. Adest y D. J. Morafka. 1984. Home range and movement patterns of the Bolsón tortoise, *Gopherus flavomarginatus*. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) 1:1-28.
- Anderson, R. P. 2012. Harnessing the world's biodiversity data: promise and peril in ecological niche modeling of species distributions. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1260:66-80.
- Aresco, M. J. y C. Guyer. 1999. Growth of the tortoise *Gopherus polyphemus* in slash pine plantations of south-central Alabama. *Herpetologica* 55:499-506.
- Bury, R. B., D. J. Morafka y C. J. McCoy. 1988. Part I. Distribution, abundance, and status of the Bolsón tortoise. *In* The ecogeography of the mexican Bolsón tortoise (*Gopherus flavomarginatus*): derivation of its endangered status and recommendations for its conservation, D. J. Morafka y C. J. McCoy (eds.). *Annals Carnegie Museum*, Pittsburgh. p. 5-30.
- Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1998. Uso de suelo y vegetación de Inegi agrupado por Conabio. Escala 1:1,000,000. Modificado de: Inegi- INE (1996). Uso del suelo y vegetación, escala 1:1,000,000. México.
- Conanp (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2013. Anexo 2. Protocolo de Monitoreo No. 6: Monitoreo de la Tortuga del Bolsón (*Gopherus flavomarginatus*) en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, en los estados de Durango, Chihuahua y Coahuila. p. 1-12.
- <http://www.conanp.gob.mx/programas/pdf/Anexo%20%20Protocolo%20de%20Monitoreo%20Mapimi.pdf>; última consulta:

- 16.X.2013.
- Contreras-Medina, R., I. Luna-Vega y C. A. Ríos-Muñoz. 2010. Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México: modelos ecológicos de nicho, efectos del cambio del uso de suelo y conservación. *Revista Chilena de Historia Natural* 83:421-433.
- Daren-Riedle, J., R. C. Averill-Murray, C. L. Lutz y D. K. Bolen. 2008. Habitat use by Desert Tortoises (*Gopherus agassizii*) on alluvial fans in the Sonoran Desert, South-Central Arizona. *Copeia* 2008:414-420.
- Eberhardt, L. L. 1968. Transect methods for population's studies. *Journal of Wildlife Management* 42:1:31.
- ESRI (Environmental Scientific Research Institute). 2008. ArcGIS 9.3.1. . Redlands, California.
- ESRI (Environmental Scientific Research Institute). 2012. ArcGIS 10.1. Redlands, California.
- García, G. I. y J. G. Martínez. 2004. Caracterización de la Reserva de la Biosfera de Mapimí mediante el uso de sistemas de información geográfica. *Memorias del IV Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas*. Universidad Autónoma de Chihuahua-Universidad de Sonora. p. 369-377.
- Gatica, C. A. y G. Aguirre. 2010. Ficha técnica de *Gopherus agassizi*. In *Diagnóstico de algunas especies de anfibios y reptiles del norte de México*, C. A. Gatica (comp.). Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal, Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Bases de datos SNIB-Conabio. Proyecto No. CK007. México, D. F.
- Gómez-Pompa, A. y R. Dirzo. 1995. Reservas de la biosfera y otras áreas naturales protegidas de México. Instituto Nacional de Ecología, Semarnap y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (Edición digital: Conabio, 2006).
- Hijmans, R. J., S. E. Cameron y J. L. Parra. 2006. WorldClim global climate layers, version 1.4. Disponible en WorldClim Database: www.worldclim.org; última consulta: 25.III.2011.
- Inegi (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2013. Continuo de elevaciones mexicano 3.0 (CEM 3.0). Resolución 15 m × 15 m. Datum ITRF92 época 1988.0, elipsoide GRS80, coordenadas geográficas. Generado en ArcGIS 10.1.
- IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2011. IUCN Red List of Threatened Species, versión 2011.1. <http://www.iucnredlist.org>, última consulta: 16.X.2013.
- Krebs, C. J. 2001. *Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance*. Quinta edición. Benjamin Cummings. San Francisco. 695 p.
- Krivoruchko, K. 2012. Empirical bayesian kriging implemented in ArcGIS geostatistical analyst. *ArcUser, The Magazine for Esri Software Users*. ESRI. p. 6-10.
- Legler, J. M. 1959. A new tortoise genus *Gopherus*, from north central Mexico. *University of Kansas Publications of the Museum of Natural History* 11:335-343.
- Lieberman, S. S. y D. J. Morafka. 1988. Part II. Ecological distribution of the Bolsón tortoise. In *The ecogeography of the Mexican Bolsón tortoise (Gopherus flavomarginatus): derivation of its endangered status and recommendations for its conservation*, D. J. Morafka y C. J. McCoy (eds.). *Annals Carnegie Museum*. p. 31-46.
- Lovich, J. E. y R. Daniels. 2000. Environmental characteristics of desert tortoise (*Gopherus agassizii*) burrow locations in an altered industrial landscape. *Chelonian Conservation and Biology* 3:714-721.
- Martínez-Cárdenas, A. 2006. Evaluación del hábitat de la tortuga de Mapimí (*Gopherus flavomarginatus*) en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, Durango, México. Tesis, Instituto de Ecología A. C. Xalapa, Veracruz, México. 85 p.
- Martínez-Meyer, E. y V. Sánchez-Cordero. 2006. Uso de datos de colecciones mastozoológicas. *Colecciones mastozoológicas de México*. AMMAC. 177-186.
- Morafka, D. 1982. The status and distribution of the Bolsón tortoise (*Gopherus flavomarginatus*). In *North American tortoises: conservation and ecology*, B. E. Bury (ed.). United States Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington D. C. p. 71-94.
- Phillips, S. J., M. Dudik y R. E. Schapire. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*, ACM Press, New York. p. 655-652.
- Ralph, C. J. 1981. Terminology used in estimating numbers of birds. In *Estimating numbers of terrestrial birds: studies in avian biology*, C. J. Ralph y J. M. Scott (eds.). *Studies in Avian Biology* 6. p. 577- 578.
- Ramírez-Carballo, H., I. García-Gutiérrez y J. G. Martínez-Rodríguez. 2005. Caracterización participativa de agostaderos degradados en un predio de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. *Memorias del II Simposio Internacional de Manejo de Pastizales*. 20-21 abril, 2005. INIFAP-Gobierno del Estado de Zacatecas-Zacatecas A. C. p. 274-280.
- Reptile-DataBase. 2013. *Gopherus flavomarginatus*. [http://reptile-database.reptarium.cz/species?genus=Gopherus&species=flavomarginatus\[02/09/2013 12:48:26 a. m.\]](http://reptile-database.reptarium.cz/species?genus=Gopherus&species=flavomarginatus[02/09/2013 12:48:26 a. m.]); última consulta: 16.X.2013.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2000. DOF (Diario Oficial de la Federación). Decreto por el cual se declara como área natural protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la región denominada Mapimí del 17 de noviembre de 2000. México.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 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. *Diario Oficial de la Federación*. 30 de Diciembre del 2010, México.
- Ureña-Aranda, C. A. y A. E. De los Monteros. 2012. The genetic crisis of the mexican Bolsón tortoise (*Gopherus flavomarginatus*: Testudinidae) *Amphibia-Reptilia* 33:45-53.