

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



“DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE *Heloderma horridum*”

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

Hublester Domínguez Vega

DIRECTOR

Dr. Octavio Monroy Vilchis

Mexicali, B. C.

Agosto de 2010

Para E. A. D. G. y para Y. G.O

....lo mejor de mi vida

Agradecimientos

A todos los integrantes de la estación biológica "Sierra Nanchititla" .

A los habitantes de la sierra Nanchititla, en especial a Sirino, Don Margarito, Mago,
Raunel, Juan, Armando, Pedro, Julián y Carlos

A Tavo, gracias por la oportunidad, el espacio y los fondos para hacer este trabajo

Índice

Índice	2
Resumen	4
Introducción	5
Antecedentes.....	9
Objetivos.....	16
General	16
Particulares.....	16
Hipótesis.....	17
Área de estudio	18
Materiales y métodos	20
Registros de presencia.....	20
Colecciones herpetológicas	20
Revisión de literatura.....	22
Investigaciones científicas.....	23
Muestreo.....	23
Depuración de los registros de presencia	24
Características ambientales	24
Modelos de distribución potencial y protección de <i>H. horridum</i>	28
Uso de hábitat y amplitud de nicho	31
Resultados.....	34
Registros de presencia.....	34
Modelos de distribución potencial y protección de <i>H. horridum</i>	35
Uso de hábitat y amplitud de nicho	43
Discusión	47
Modelos de distribución potencial y protección de <i>H. horridum</i>	47
Uso de hábitat y amplitud de nicho	53
Conclusiones	58
Literatura citada.....	59
Anexos.....	71

Resumen

El escorpión (*Heloderma horridum*) es una de las dos especies que integran la familia Helodermatidae. Su distribución conocida se extiende desde el sur de Sonora hasta Chiapas en México y llega hasta Guatemala. Estas lagartijas presentan hábitos discretos por lo que se desconocen muchos aspectos de su ecología, entre ellos, las zonas en las que se pueden mantener poblaciones viables así como las características ambientales que pueden limitar su presencia. Actualmente esta especie está catalogada como amenazada dentro de la norma oficial mexicana NOM-059, también se encuentra dentro del apéndice II de la “convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora” (CITES) y está en la categoría de “menor preocupación” de la “International union for conservation of nature” (IUCN). En este trabajo se presenta un modelo de distribución potencial para *Heloderma horridum* generado a partir de registros de esta especie de 1990 al 2009 combinados con características ambientales mediante un modelo de consenso. A partir de este modelo se identificaron las principales características ambientales que pueden limitar la distribución de esta especie. Así mismo se cuantificó su protección en las áreas naturales protegidas y las regiones terrestres prioritarias y se identificaron zonas que pueden ser importantes en futuros planes de conservación. También, se evaluó el uso de hábitat y la amplitud de nicho de esta especie. Los resultados muestran que la distribución potencial de *H. horridum* presenta un patrón similar al propuesto anteriormente pero se encontraron algunas diferencias importantes principalmente en el centro de México. Esta especie presenta una gran afinidad por los ambientes estacionales y por sitios con un bajo porcentaje de suelo desnudo. De acuerdo a este estudio, esta especie se encuentra escasamente protegida y hace un uso selectivo de las características ambientales que limitan su presencia, por lo que se puede clasificar como un animal altamente especialista.

Introducción

Heloderma horridum es una lagartija grande, terrestre y semiarbóricola. Pertenece a la familia Helodermatidae, la cual se encuentra compuesta de un solo género y dos especies: *Heloderma horridum* (Escorpión) y *Heloderma suspectum* (monstruo de gila) (Bogert y Martín del Campo 1956, Beck 2005).

Las lagartijas de esta familia son únicas entre los saurios debido a que presentan dientes con canales y glándulas de veneno (Bogert y Martín del Campo 1956). Aun cuando recientemente se ha descubierto que otras lagartijas tienen toxinas en su saliva (Fry 2006), se sigue considerando que los helodermatidos son los únicos lagartos con un sistema bien desarrollado para la producción e inoculación del veneno. Otra característica que permite distinguir fácilmente a los miembros de esta familia y que les confiere un aspecto muy peculiar, es la presencia de osteodermos en lugar de solo escamas en la región dorsal del cuerpo (Bogert y Martín del Campo 1956, Alvarez-del Toro 1982, Aguilar-Miguel 2005, Beck 2005).

La especie *Heloderma horridum*, se encuentra actualmente dividida en cuatro sub especies: *H. h. hexasperatum*, *H. h. horridum*, *H. h. alvarezi* y *H. h. charlesbogerti* (Bogert y Martín del Campo 1956, Campbell y Vanini 1988, Beck 2005). Su distribución histórica se restringe a la vertiente del pacífico, desde el sur de Sonora hasta Guatemala y en la vertiente del golfo en Chiapas y Guatemala. Se han registrado individuos desde el nivel del mar hasta los 1600m de altitud. Se le encuentra principalmente en la selva baja caducifolia, aunque también se ha registrado en áreas con malezas tropicales y menos frecuentemente en bosques de pino-encino (Beck 2005, Bogert y Martín del Campo 1956, Alvarez-del Toro 1982).

La distribución histórica de esta especie, incluye registros desde 1577 (Bogert y Martín del Campo 1956). Sin embargo, la mayoría de estos registros han sido encuentros “casuales” con estos animales y por ello son muy pocos los que contienen información relacionada con las condiciones ambientales en las cuales se encontraron los animales e incluso se ignora la localidad de varios registros. Como consecuencia, se desconoce si la distribución histórica refleja correctamente la distribución real de *H. horridum* a pesar del periodo temporal relativamente amplio que abarcan sus registros. De la misma manera la carencia de información sobre las poblaciones de los escorpiones ha provocado que se desconozca cuales son las características ambientales que restringen su distribución así como las zonas que pueden mantener poblaciones viables de estos animales.

A lo largo de su ámbito, el escorpión nunca se considera común. Esto se ha atribuido principalmente a dos características intrínsecas de la especie: bajas densidades poblacionales y una actividad muy baja (Beck y Lowe 1991, Beck 2002, Beck 2003). Estas características provocan que el esfuerzo de muestreo necesario para obtener registros de estos animales sea muy elevado y como consecuencia los estudios de estos animales son muy escasos. En la revisión de la literatura realizada para este estudio, se encontró que solo se han realizados estudios enfocados a la ecología de esta especie en el estado de Jalisco, México y en el valle Montagua, Guatemala (Beck y Lowe 1991, Beck y Ramirez-Bautista 1991, Beck 2002, Ariano-Sánchez 2003, Balderas-Valdivia 2004, 2005, Balderas-Valdivia y Ramirez-Bautista 2005, Ariano-Sánchez 2006, 2007, 2008b, a).

A pesar de la falta de conocimiento sobre la distribución y abundancia de los helodermatidos, se ha estimado que las principales amenazas a las cuales se enfrentan, son la pérdida y degradación de su hábitat, el comercio ilegal, y la cacería indiscriminada (Beck 2005). En relación a la pérdida del hábitat de estos animales, es

muy importante recalcar que el principal tipo de vegetación en el cual se han registrado (Selva baja) es también el más amenazado a nivel mundial (Janzen 1988). En referencia a las otras dos grandes amenazas de los escorpiones, resulta contrastante que por una parte estos animales sean muy codiciados como mascotas exóticas y al mismo tiempo sean tan temidos por las personas que comparten su zona de distribución. Al respecto, cabe mencionar que la apariencia de estos lagartos así como el hecho de que son venenosos han propiciado que se generen muchos mitos a su alrededor. En la mayoría de los cuales, estos animales son considerados sumamente peligrosos y agresivos (Brown y Carmony 1999, Casas-Andreu 2000). Tales historias agudizan el conflicto entre los escorpiones y las personas, lo que pudiera influir negativamente en su conservación. La realidad sobre las lagartijas del género *Heloderma* es que son muy lentas y confían en su apariencia y en su veneno para evadir a sus depredadores, por lo que pueden considerarse inofensivas para las personas si no se les agrede (Beck et al. 1995).

Aunque el escorpión se encuentra como una especie amenazada en la NOM-ECOL-059-2001 (SEMARNAT 2008). En México, las personas los matan indiscriminadamente y su hábitat esta siendo modificado o invadido a una velocidad alarmante (Beck 2002). A nivel internacional, esta especie se encuentra dentro de la categoría II de la CITES (CITES 2007) y como una especie de menor importancia en la UICN (UICN 2001).

Por otra parte, se ha hipotetizado que las áreas naturales protegidas (ANPs) así como las regiones propuestas para protección o regiones terrestres prioritarias (RTPs), tienen muy poca coincidencia con la distribución conocida de estos animales (Beck 2005). Con base en esta problemática, resulta evidente la necesidad de identificar con mayor precisión la distribución de *H. horridum* como base para planificar el manejo y conservación de estos animales.

La distribución de una especie representa la ocurrencia total de sus poblaciones, los límites de esta distribución marcan las áreas donde las condiciones ambientales son desfavorables para la especie en términos de sobrevivencia y reproducción. Los factores que afectan presencia de las especies son el clima relacionado con las tolerancias fisiológicas, la disponibilidad y acceso a los recursos, las interacciones interespecíficas y la historia evolutiva (Zug *et al.* 2001). Por lo tanto, para cuantificar o caracterizar los ambientes apropiados para una especie en particular, es necesario medir las características del hábitat que se relacionan con la presencia, número de individuos o salud de la especie en cuestión. Los cambios en dichas características permiten inferir la situación de los organismos y aplicar las medidas correctas para su conservación (Anderson y Gutzwiller 1996).

Actualmente, los modelos de calidad de hábitat constituyen una de las herramientas más utilizadas para estimar la distribución de las especies (Guisan y Zimmermann 2000, Rushton *et al.* 2004, Guisan y Thuiller 2005, Hernandez *et al.* 2006, McPherson y Jetz 2007). Se han desarrollado una gran variedad de modelos digitales de calidad de hábitat (Carpenter *et al.* 1993, Guisan y Zimmermann 2000, Mackey y Lindenmayer 2001, Peterson 2001, García-Barros *et al.* 2002, Ray *et al.* 2002, Stockwell y Peterson 2002, Zaniwski *et al.* 2002, Hirzel y Arlettaz 2003, Engler *et al.* 2004, Kearney y Poter 2004, Martínez-Meyer *et al.* 2004, Segurado y Araújo 2004, Chefaoui *et al.* 2005, Phillips *et al.* 2005, Elith *et al.* 2006, Gibson *et al.* 2007, Papes y Gaubert 2007, Richards *et al.* 2007, Marmion *et al.* 2009, Thorn *et al.* 2009). Las características de cada uno varían debido a que han sido desarrollados con diversos objetivos. Pero estos han probado ser de mucha utilidad en los planes de manejo y conservación de diferentes especies (Guisan y Thuiller 2005, Elith *et al.* 2006, García 2006, Anadón *et al.* 2007, Papes y Gaubert 2007).

El manejo y conservación de fauna silvestre, generalmente incluye el manejo del hábitat. Este manejo presupone algún conocimiento de las necesidades de las especies en cuestión. Para determinar estas necesidades, los investigadores comúnmente estudian el uso del hábitat y con base en los resultados infieren la selección y preferencia de las especies (Garshelis 2000). Uno de los métodos más comúnmente aplicados para analizar el uso del hábitat es el diseño en función a la disponibilidad, el cual se basa en el uso de pruebas estadísticas como la prueba de G para asociar las frecuencias de captura con diferentes categorías de hábitat. Otra de las medidas de gran importancia en el análisis de uso del hábitat de una especie, es la amplitud de nicho, la cual indica que tan generalista o especialista es la especie de estudio a partir de la observación de la frecuencia de sus individuos dentro de un ambiente dividido en categorías naturales o artificiales (Krebs 1999).

En este estudio, se utilizaron los modelos de distribución de especies para crear una distribución hipotética de *H. horridum* a partir de la cual se estima el grado de protección de sus poblaciones con base en las ANPs y RTPs. Adicionalmente se estimaron las características ambientales más importantes para la presencia de los escorpiones y se estimó el uso de hábitat y la amplitud de nicho para definir con mayor precisión el uso de las variables de importancia para esta especie.

Antecedentes

La familia Helodermatidae se encuentra dentro de los grupos más famosos de lagartijas, y paradójicamente es también uno de los menos estudiados (Beck 2005). Aun cuando reciente mente el interés sobre estas lagartijas se ha visto notablemente incrementado en una gran variedad de aspectos como la medicina (Van Denburgh 1898, Ariano-Sánchez 2008b), la fisiología (Zarafonetis y Kalas 1960, Cooper y Arnett

1995, Golberg y Lowe 1997, Espinosa-Avilés *et al.* 2008) y la conservación (Zootropic 2006, Ariano-Sánchez 2007, Kwiatkowski *et al.* 2008). Los estudios en campo de estos animales siguen siendo escasos en particular para *H. horridum*.

De acuerdo con Bogert y Martín del Campo (1956), la primera descripción de un Helodermatido fue realizada en 1615 por Francisco Hernández, quien describió a este animal con el nombre de “Acaltetepon” y en su reporte menciona que estos se encuentran en las cercanías de Cuernavaca en el actual estado de Morelos. De manera similar otros trabajos posteriores como los de Wiegmann (1829), mencionan la presencia de estos animales (en ocasiones con otros nombres) en diferentes regiones a lo largo de lo que hoy se sabe es su área de distribución. El mismo Wiegmann fue quien acuñó el nombre actual del género *Heloderma* el cual describe junto con la especie *H. horridum* en 1829.

La distribución histórica de la familia Helodermatidae se ha estimado con base en los registros gradualmente reunidos. De manera que se ha visto modificada en algunas regiones. Existen dos trabajos en los cuales se presentan mapas que señalan la distribución de estos lagartos (Bogert y Martín del Campo 1956, Beck 2005), ambos mapas mantienen una distribución que en general es similar, pero se pueden observar algunas diferencias importantes (figuras 1 y 2).

Las principales diferencias entre ambas propuestas son que en la más antigua se muestra una distribución disyunta mientras que en la más reciente la distribución propuesta es continua a lo largo de la costa occidental de México. Además, en la propuesta de Bogert y Martín del Campo, no aparece la población de Guatemala que hoy se conoce como *H. h. charlesbogerti*.

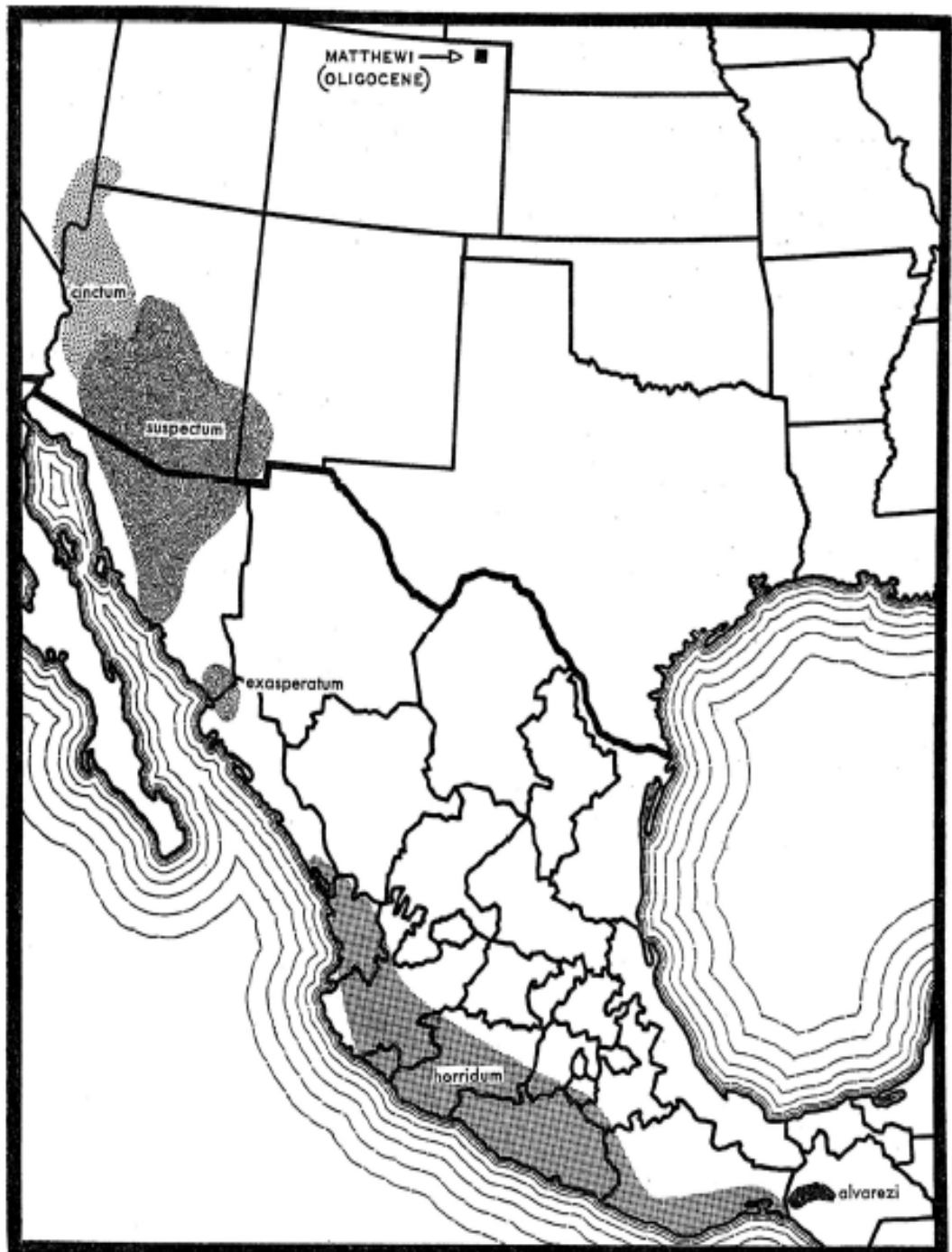


Figura 1. Mapa de distribución de la familia Helodermatidae (Bogert y Martín del Campo 1956).

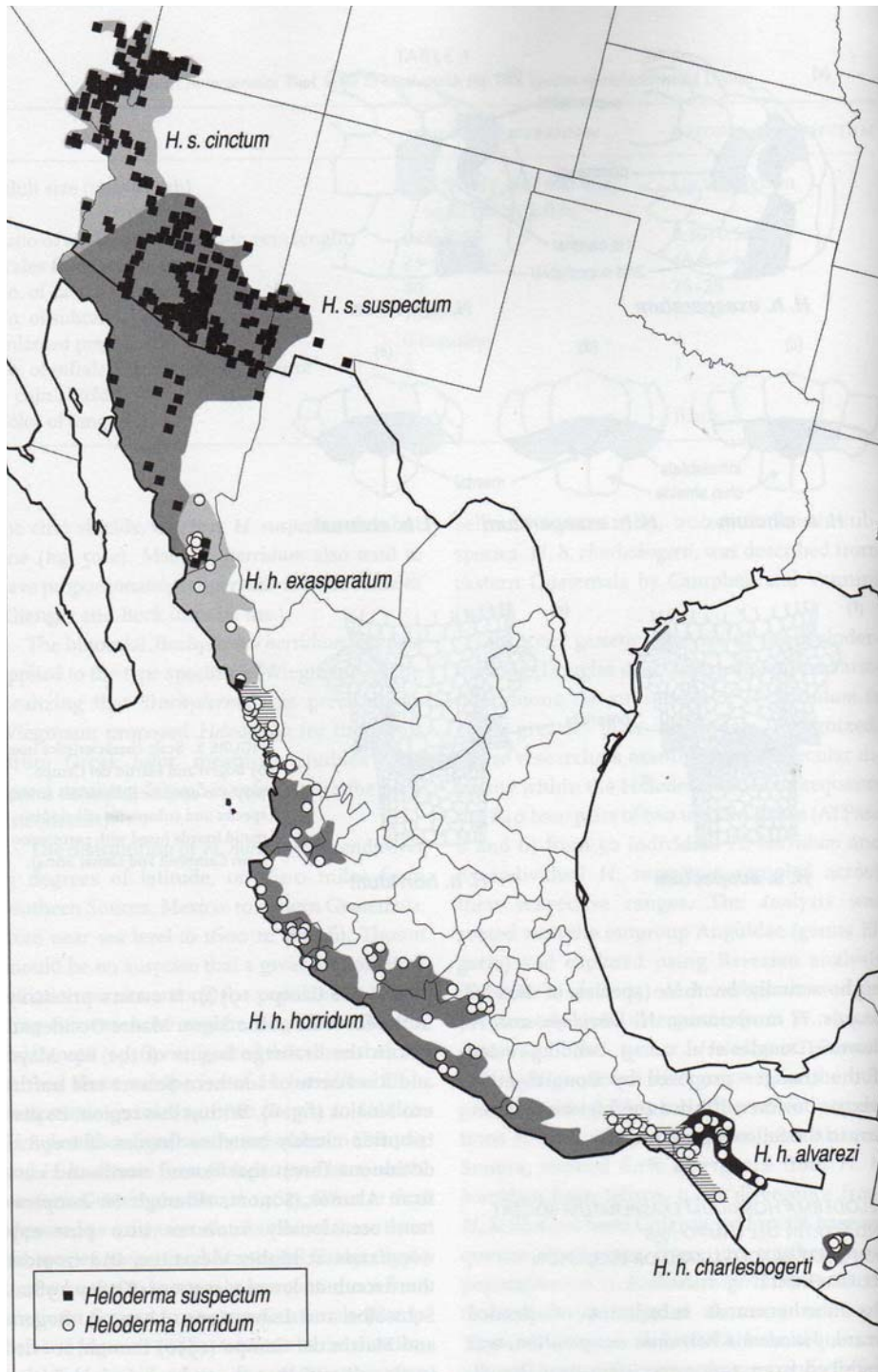


Figura 2. Mapa de distribución de la familia Helodermatidae (Beck 2005). El área de distribución es continua y mas definida que en la figura 1. Además, aparece la subespecie *H. h. charlesbogerti* en Guatemala.

De manera regional se han publicado dos trabajos en los cuales se analiza la distribución de estos animales. Estos estudios se realizaron con sistemas de información geográfica. Uno fue realizado con una población de *H. suspectum* en Nevada (Gienger 2003), con variables topográficas (elevación y sustrato geológico) para identificar las características de los sitios de su distribución. Otro estudio, se realizó con *H. horridum* en Guatemala (Ariano-Sánchez 2003). En este estudio se utilizaron variables como el tipo de vegetación, sustrato geológico, pendiente y poblaciones humanas para identificar áreas de tamaño apropiado para mantener poblaciones viables de *H. h. charlesbogerti*. La metodología aplicada en cada caso permitió reconocer que estos animales están asociados con características específicas del hábitat.

Los estudios a escala local que abordan el uso de hábitat de las lagartijas del género *Heloderma*, incluyen uno muy importante realizado con *H. suspectum* (Beck y Jennings 2003), donde se menciona como responden estas lagartijas a las variaciones temporales y espaciales en la disponibilidad y calidad de los refugios. En dicho estudio se comenta que la distribución local, está influenciada por aspectos ambientales como la disponibilidad y calidad de los refugios que son seleccionados con base en ciertos atributos físicos como la profundidad, abundancia de rocas y aspecto de la entrada así como aspectos microambientales como la temperatura y presión del vapor los cuales varían estacionalmente.

Para *H. horridum* los estudios en campo solo se han realizado en dos localidades: una en el estado de Jalisco, México y la otra en Guatemala. En ambos sitios, se ha reportado de manera descriptiva el uso de hábitat por parte de estos animales. Debido a ello, no se puede asegurar que esta especie seleccione ciertas características del hábitat. Aunado a esto, el muestreo tan limitado de las poblaciones de *H. horridum*, no ha permitido identificar las características ambientales que limitan

su distribución. Sin embargo, en un estudio realizado en el extremo occidental de la distribución de *H. suspectum*, se sugirió que algunas variables ambientales pueden ser de importancia en la presencia de los helodermátidos (Lovich y Beaman 2007), este trabajo aportó información importante sobre las condiciones que probablemente limitan la distribución de estos animales. Los autores sugieren que los patrones de precipitación pueden ser una de las limitantes más importantes de la dispersión de los monstruos de gila hacia el occidente de estados unidos. Beck (2005), apoya esta hipótesis al sugerir que tanto *H. suspectum* como *H. horridum* pueden verse favorecidos en ambientes con patrones bifásicos de lluvia debido a su capacidad de “almacenar energía” para les épocas de escasas de alimento. Además el mismo autor señala que en general los ambientes con estacionalidad muy marcada pueden ser los más apropiados para encontrar a estos animales. Por otra parte, se conoce que aún cuando el orden squamata (serpientes y lagartos) presenta una distribución casi cosmopolita, la distribución de sus grupos se ve afectada condiciones abióticas como la temperatura, la altitud, la humedad y características de la vegetación como el tipo y la densidad (Zug *et al.* 2001).

Una de las herramientas más utilizadas en los últimos años para estudiar la distribución de las especies son los modelos de calidad de hábitat (Elith *et al.* 2006, Marmion *et al.* 2009). Existen varios ejemplos de aplicaciones de estos métodos en el estudio de fauna silvestre. Principalmente en mamíferos, reptiles y anfibios (Lindsey 1997, Blomberg y Shine 2001, Anderson *et al.* 2002, Austin 2002, Guisan y Thuiller 2005, Luiselli 2007, Costa *et al.* 2008, Luiselli 2008).

Debido al gran desarrollo de estas herramientas, se ha generado un debate intenso sobre la calidad de los diferentes modelos. Al respecto, se ha sugerido que la elección de uno u otro modelo depende de los objetivos del estudio, las características intrínsecas (tipo de forrajeo, amplitud de su ámbito hogareño) y extrínsecas (historia

evolutiva, interacciones biológicas) de la especie así como de las características del área de estudio como la amplitud y la heterogeneidad del paisaje (Hernandez *et al.* 2006, Anadón *et al.* 2007, McPherson y Jetz 2007). Sin embargo, se han realizado algunas evaluaciones del desempeño de los diferentes modelos disponibles ante cambios en características como el tamaño de muestra, la amplitud del espacio estudiado, etc. (Hernandez *et al.* 2006, Marmion *et al.* 2009) y se ha concluido que algunos modelos como el consenso, redes neuronales artificiales y máxima entropía presentan una mayor confiabilidad.

El método de consenso es uno de los más ampliamente aceptados. Su enfoque está basado en la idea de que las diferentes predicciones son posibles estados de una distribución real (Marmion *et al.* 2009). Existen varios tipos de técnicas de consenso, pero en general ofrecen la ventaja de incorporar los resultados de varios modelos para generar una distribución más cercana a la realidad que los modelos individuales (Marmion *et al.* 2008).

El análisis del uso de hábitat y el de amplitud de nicho se utilizan para identificar la selección y preferencia de ciertos atributos del hábitat así como el grado de especialización por parte de los animales (Krebs 1999, Garshelis 2000). Estos análisis han sido aplicados para estudiar varias especies en combinación con diferentes técnicas de muestreo como los rastros, avistamientos o fototrampeo (Monroy-Vilchis *et al.* 2009). Sin embargo, no han sido aplicados en combinación con los modelos de distribución potencial. Esta aplicación puede ofrecer una alternativa para identificar las variables asociadas a la presencia de una especie en los modelos que no generan esta información como el modelo de consenso o el algoritmo genético para producción de reglas (GARP).

Objetivos

General

- Identificar la distribución potencial de *Heloderma horridum* en México mediante un modelo digital para reconocer áreas importantes para su conservación.

Particulares

- Crear un mapa digital de la distribución potencial de *H. horridum*
- Estimar el área de distribución potencial e identificar el área protegida de esta especie con base en las ANPs y RTPs
- Clasificar el área de distribución potencial con base en los valores de probabilidad de ocurrencia para obtener un indicador de la idoneidad del hábitat para *H. horridum*.
- Identificar las variables que pueden limitar la distribución potencial de *H. horridum*
- Analizar el uso de hábitat que realiza *H. horridum* en las variables de importancia para su presencia mediante el índice de uso de hábitat y determinar su amplitud de nicho.

Hipótesis

Debido a que se ha propuesto que *H. horridum* puede estar fuertemente asociado con las selvas bajas, se espera que su distribución potencial presente las siguientes características:

- Que sea discontinua a lo largo de la costa del pacífico.
- Determinada con variables relacionadas con la estacionalidad del ambiente (temperatura y precipitación).
- Su hábitat potencial protegido representará un bajo porcentaje de su distribución potencial.

Área de estudio

Debido a que se desconocen los límites exactos de la distribución de *H. horridum*, se analizó la probabilidad de ocurrencia de esta especie con base en su distribución histórica y las características presentes en esta zona se usaron como base para caracterizar el ambiente en el que se espera la ocurrencia de esta especie.

El área de distribución histórica de *H. horridum* (figura 2), ocupa una amplia extensión que se extiende por más de 13 grados de latitud desde el estado de Sonora en el norte de México hasta el suroeste de Guatemala (Beck 2005). En México, esta región comprende la sierra madre occidental, la sierra madre del sur y parte del eje neovolcánico transversal, que son tres de las cadenas montañosas más relevantes del país. Dentro de la misma región se encuentran también tres escurrimientos muy importantes: el río Balsas, parte del río Lerma y el río el Fuerte (Conservancy 2007). La gran extensión y la intrincada fisiografía de esta zona han dado como resultado una vasta y compleja biodiversidad donde se albergan una gran cantidad de especies endémicas lo que hace de la zona una región de gran importancia en la conservación (Conservancy 2007).

En esta zona se incluyen aproximadamente 35 tipos de vegetación, de las cuales las ampliamente distribuidas son las selvas bajas caducifolias y subcaducifolias. También se incluyen aproximadamente el 67 % de los vertebrados registrados para el país y el 28% de las plantas. Dentro de esta zona se encuentran algunas de las zonas urbanas más grandes del país que representan una de las mayores amenazas para la biodiversidad. Además, es el área donde se sitúa el mayor conflicto social, la mayor heterogeneidad socio-económica y un alto índice de producción de cultivos ilícitos. Aunado a esto, es importante mencionar que la tasa de incremento poblacional en esta zona es muy elevada (Conservancy 2007).

Las selvas bajas caducifolias también conocidas como bosques tropicales caducifolios (Rzedowski 1986), incluyen los bosques propios de regiones cálidas y con ritmos bimodales de precipitación. Su característica principal es que los árboles pierden sus hojas en la época seca del año y su altura oscila entre los 5 y 15m. Los bosques tropicales subcaducifolios se encuentran frecuentemente mezclados con la selva baja caducifolia aunque es más densa en cobertura y generalmente se encuentra en las barrancas. En este tipo de vegetación la mitad de los árboles pierde sus hojas en la época seca del año, su altura oscila entre los 15 y 40m (Rzedowski 1986, Challenger 1998).

Entre las selvas secas del pacífico mexicano y depresión del Balsas se incluye una extensión de 25, 403 609 ha. distribuidas en cinco ecorregiones: selvas subtropicales transicionales de Sonora/Sinaloa y selvas secas de Sinaloa, Jalisco, el Balsas y Pacífico sur. Aquí se encuentran 67 áreas naturales protegidas que en conjunto abarcan 757, 563 ha que representan solo el 3% del área. Con lo cual se protege solamente el 3.7% de la selva baja caducifolia (Conservancy 2007). Este tipo de vegetación ha sido reconocido como el más amenazado a nivel mundial y se ha estimado que solo el 2% de su extensión se mantiene intacta. Se ha reportado que la biodiversidad en este tipo de ambientes es muy alta, en ocasiones incluso similar a la de las selvas húmedas (Janzen 1988).

El tipo de vegetación dominante en el área de distribución de *H. horridum* en Guatemala también puede ser descrito como un bosque tropical seco. Consiste de una asociación de varias especies de arboles con una altura de dosel entre 20 y 25 metros. El suelo esta siempre cubierto por hojarasca y el estrato de sotobosque es ralo (Ariano-Sánchez 2003). En esta región, mucho del terreno donde históricamente se ha reportado *Heloderma* ha sufrido cambio de uso de suelo principalmente al remplazar la vegetación nativa por zonas de cultivo de maíz principalmente (Ariano-Sánchez 2003).

Materiales y métodos

Registros de presencia

El comportamiento críptico de la especie de estudio y la amplitud de su área de distribución, hacen que realizar un muestreo en campo sea un proceso costoso en tiempo, recursos y esfuerzo que además no garantiza los resultados deseados. Por lo anterior, se consideró que recopilar registros de presencia de diferentes fuentes en conjunto con un muestreo dirigido en algunas zonas de la distribución de *H. horridum* podría ser una mejor estrategia para obtener una muestra representativa del gradiente de condiciones ambientales en las cuales ocurre esta especie. Para esto, se realizó una revisión detallada de las colecciones herpetológicas y la literatura científica en donde se aborda la distribución de los escorpiones. También se incluyeron registros obtenidos en investigaciones previas realizadas en diferentes zonas a lo largo de la distribución de estos animales. Adicionalmente, se realizó un muestreo en una zona donde existían muy pocos registros de la especie. Los registros se obtuvieron en coordenadas de diferentes proyecciones geográficas y se re proyectaron en latitud-longitud (WGS 84) mediante el uso de los programas: ArcView GIS 3.2 y ArcGIS.

Colecciones herpetológicas

Se consultaron dos colecciones directamente y 21 a través de internet (Gbif 2009, Herpnet 2009; Cuadro 1).

Cuadro 1. Colecciones herpetológicas consultadas de manera directa e indirecta

Núm.	Nombre	Siglas	Consulta
1	Colección nacional de anfibios y reptiles	CNAR	Directa
2	Museo de zoología de la Facultad de Ciencias	MZFC	Directa
3	Academy of Natural Sciences	-----	Herpnet
4	Cornell University Museum of Vertebrates	CUMV	Herpnet
5	Illinois Natural History survey	INHS	Herpnet
6	Field Museum	-----	Herpnet
7	Los Angeles County Museum of Natural History	LACM	Herpnet
8	Michigan State University Museum	MSUM	Herpnet
9	Harvard University Provider	MCZ	Herpnet
10	Museum of Vertebrate Zoology	MVZ	GBIF
11	Milwaukee Public Museum	-----	Herpnet
12	Museum of Natural Science	LSUMZ	Herpnet
13	Royal Ontario Museum	-----	Herpnet
14	Texas cooperative wildlife collection	TCWC	Herpnet
15	Staatliches Museum Naturkunde Stuttgart	-----	Herpnet
16	University of Colorado Museum	UCM	Herpnet
17	University of Arizona Museum of Natural History	-----	Herpnet
18	University of Kansas biodiversity research center	-----	Herpnet
19	University of Texas-Austin	-----	Herpnet
20	Yale university Peabody Museum	YPM	GBIF
21	Museo Smithsoniano	-----	Herpnet
22	Mnty L. Bean museum, Brinham young	-----	Herpnet
23	California Academy of Sciences	-----	Herpnet

Revisión de literatura

Se realizó una revisión detallada en la literatura incluyendo libros, artículos y reportes publicados en revistas científicas. Solo se incluyeron los registros que contaron con una descripción detallada del sitio de colecta (Cuadro 2).

Cuadro 2. Publicaciones de las que se obtuvieron registros de presencia de *H. horridum*.

Autor	Título
(Saldaña y Pérez 1987)	Herpetofauna del estado de Guerrero, México.
(Castro y Bustos 2003)	Lagartijas de Morelos, México: Distribución, hábitat y conservación.
(García-Vazquez et al. 2006)	Análisis de la distribución de la herpetofauna en la región mixteca de Puebla, México. En: Ramírez-Bautista <i>et al.</i> 2006. Inventarios herpetofaunísticos de México: Avances en el conocimiento de su biodiversidad
(González y Garza 2006)	Herpetofauna del municipio de nuevo Trecho, Michoacán, México. En: Ramírez-Bautista <i>et al.</i> 2006. Inventarios herpetofaunísticos de México: Avances en el conocimiento de su biodiversidad.
(Aguilar-Miguel et al. 2003)	<i>Heloderma horridum horridum</i> (mexican beaded lizard)
(Monroy-Vilchis et al. 2005)	<i>Heloderma horridum horridum</i> (mexican beaded lizard). Unusual habitat

Investigaciones científicas

También se incluyeron los registros obtenidos en trabajos previos, realizados por tres investigadores dedicados al estudio de diversos aspectos biológicos de *H. horridum*. Estos estudios se llevaron a cabo en los extremos (Sonora y Guatemala) y en el centro (Jalisco) de la distribución de esta especie (Cuadro 3).

Cuadro 3. Investigadores y área de estudio de *Heloderma horridum*.

Autor	Título
(Gienger et al. 2005)	Sonora, México
(Balderas-Valdivia 2004)	Jalisco, México
(Balderas-Valdivia 2005)	Jalisco, México
(Ariano-Sánchez 2007)	Valle Montagua, Guatemala
(Ariano 2009 no publicado)	Valle Montagua, Guatemala

Muestreo

Debido a la escasez de registros de esta especie para el Estado de México en las diferentes fuentes ya mencionadas, se decidió realizar un muestreo en esta zona. Los únicos registros existentes para este estado incluyen uno encontrado en el "Museum of vertebrate zoology" (Gbif 2009) correspondiente al año de 1933. Además de un registro de Aguilar-Miguel *et al.* (2003) y otro de Monroy-Vilchis *et al.* (2005).

El muestreo se realizó en salidas mensuales de una semana de duración de Agosto de 2008 a Noviembre de 2009 en la reserva natural "sierra Nanchititla" ubicada en el suroeste del Estado de México. Esta reserva tiene una extensión de 663.93 Km² con elevaciones que van de los 410 a los 2080 m (Monroy-Vilchis *et al.* en revisión). Para reducir el esfuerzo de muestreo, se solicitó a los pobladores de la zona que indicaran los sitios donde habían visto escorpiones para posteriormente realizar el muestreo en estas zonas. Para incrementar las oportunidades de éxito se solicitó a los mismos

entrevistados su ayuda para realizar la búsqueda de los escorpiones. Dicha búsqueda se efectuó mediante recorridos de senderos en los horarios de mayor actividad de estos animales (7:00 a 10:00 y de 17:00 a 20:00 horas), de acuerdo con estudios realizados en Jalisco, México (Beck y Lowe 1991). Cuando se encontraron escorpiones, se registró la fecha, la localidad y las coordenadas geográficas con un GPS.

Depuración de los registros de presencia

Con los registros obtenidos, se creó una base de datos en la que se incluyeron la localidad, la fecha del registro y las coordenadas geográficas o descripción del sitio de colecta. De esta base se eliminaron los registros sin fecha, sin coordenadas o con una descripción del sitio que no permitiera inferir las coordenadas. Debido al cambio en las condiciones ambientales a través del tiempo, solo se utilizaron los registros de 1990 a 2010 con el fin de tener una mayor correspondencia entre los registros y las características ambientales utilizadas para generar la predicción de la distribución. Para los registros con descripción del sitio de colecta se utilizó el software "Google earth 4.3 beta" versión actualizada del 2009 (Googleinc 2009), con el cual se localizó el sitio de colecta y se obtuvieron las coordenadas correspondientes.

Características ambientales

Para determinar las variables ambientales que serían incluidas en el modelo, se realizó una revisión de la literatura sobre los efectos de los factores abióticos sobre la distribución de los lagartos en general y en particular sobre *H. horridum*. Este tipo de información es escasa para la especie de estudio. Sin embargo, se obtuvieron algunas referencias al respecto (Beck y Lowe 1991, Beck 2005, Lovich y Beaman 2007) que combinadas con los factores ambientales que afectan a los reptiles, permitieron

obtener un grupo de variables ambientales que pueden limitar la distribución de los escorpiones.

La información sobre estas variables en el área de estudio se obtuvo a través de internet (cuadro 4), en forma de capas digitales. Debido a que los formatos de las capas son presentados en diferentes proyecciones geográficas y en diferentes resoluciones, estas se procesaron mediante los programas: ArcView 3.2, Arc GIS e IDRISI andes. Con el proceso anterior se obtuvieron mapas digitales de nueve variables. Adicionalmente se crearon seis capas derivadas de la información de temperatura y precipitación. Para obtener las variables derivadas (patrones de comportamiento de la precipitación y temperatura), se utilizaron las temperaturas máximas y mínimas y la precipitación por mes. Los datos de estas variables se graficaron para identificar los periodos de sequía y lluvia así como la época más calurosa y las más fría. Posteriormente, se utilizó el programa IDRISI andes edition para crear capas digitales de las condiciones de temperatura y precipitación en estas épocas (figuras 3, 4 y 5).

Cuadro 4. Fuentes de internet de las cuales se obtuvo información de las características ambientales.

Fuente	Variables
(Hijmans et al.) "Worldclim"	Climáticas derivadas de estaciones climáticas
(U. S. Geological survey center for earth resources observation and science) "Hydro 1K"	Derivadas topográficas
(University of Maryland 1997-2010) "Global land cover facility"	Derivadas de imágenes satelitales

Los mapas digitales se utilizaron en coordenadas de latitud-longitud (WGS84) a una resolución de 1km². De acuerdo con trabajos anteriores (García 2006, Ochoa 2006 Rodríguez-Soto en revisión) y tomando en cuenta la amplitud de la zona de estudio, se consideró que esta resolución sería apropiada para reflejar el efecto de las variables elegidas sobre la presencia de *H. horridum*.

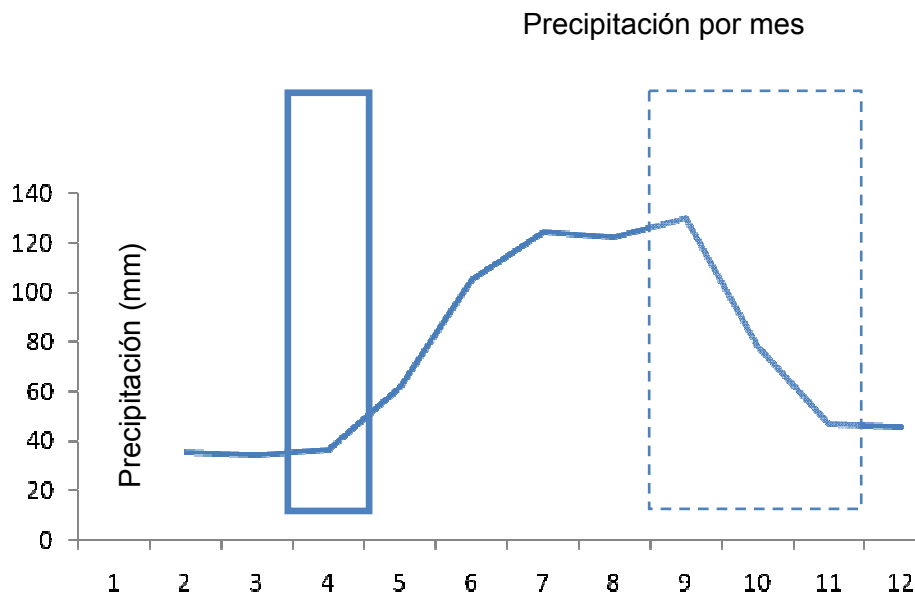


Figura 3. Periodo de sequía (rectángulo con línea continua) y de lluvia (rectángulo con línea discontinua). De toda la distribución de *Heloderma horridum*. Los números en el eje de las abscisas son los meses empezando en enero

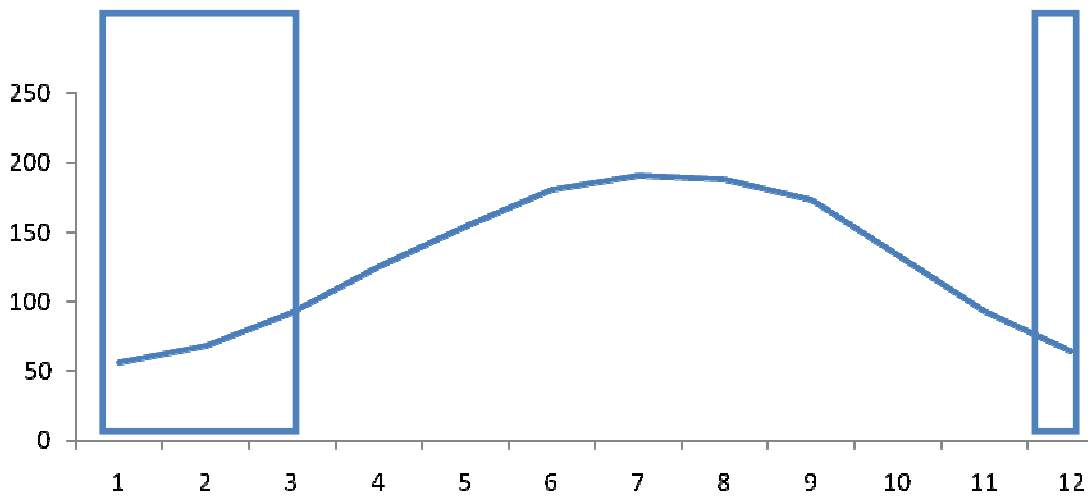


Figura 4. Temperatura mínima por mes de toda la distribución de *Heloderma horridum*. Los rectángulos corresponden con la época fría. Los números en el eje de las abscisas son los meses empezando en enero

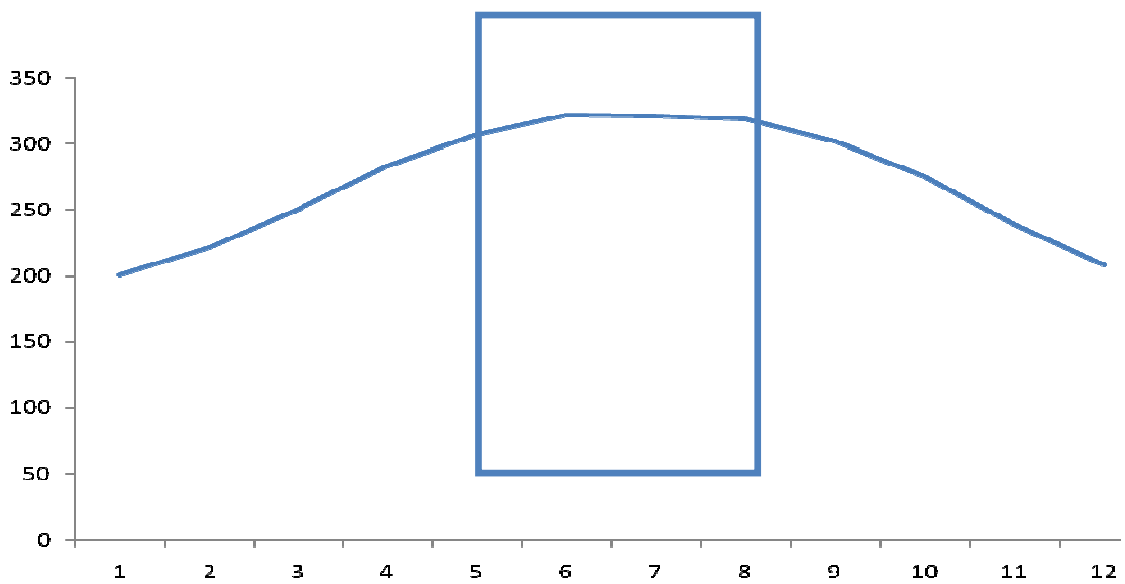


Figura 5. Temperatura máxima por mes de toda la distribución de *Heloderma horridum*. El rectángulo corresponde a la época cálida. Los números en el eje de las abscisas son los meses empezando en enero

En total, se eligieron 15 variables como probables limitantes de la distribución de *H. horridum* (Cuadro 5)

Número	Variable
1	Modelo digital de elevación
2	Pendiente
3	Porcentaje de cobertura de arboles
4	Porcentaje de cobertura de herbáceas
5	Porcentaje de cobertura de plantas con hojas aciculares
6	Porcentaje de cobertura de plantas con hoja latifoliadas
7	Porcentaje de cobertura de plantas con hojas perenes
8	Porcentaje de cobertura de plantas con hoja decidua
9	Porcentaje de suelo desnudo
10	Porcentaje de precipitación en la época de lluvia
11	Porcentaje de precipitación en la época de sequía
12	Precipitación máxima durante la época de sequía
13	Precipitación mínima durante la época lluviosa
14	Temperatura máxima durante la época más fría
15	Temperatura mínima durante la época más cálida

Modelos de distribución potencial y protección de *H. horridum*

Se aplicaron 9 modelos digitales (cuadro 6) que han sido ampliamente utilizados para definir la distribución potencial de varias especies de fauna silvestre (Stockwell y Peters 1998, Phillips *et al.* 2005, García 2006, Marmion *et al.* 2009, Thorn *et al.* 2009). Los modelos utilizados se obtuvieron de tres programas: open modeller 1.0.8, maxent versión 2 y biomapper (Phillips *et al.* 2005, Hirzel y Le Lay 2008, Sutton 2009).

Cuadro 6. Modelos aplicados para definir la distribución potencial de *H. horridum*

Modelo	Programa	Modelo	Programa
Artificial neural networks	OpenModeller	Environmental distance	OpenModeller
BIOCLIM	OpenModeller	GARP	OpenModeller
Climate space model	OpenModeller	MAXENT	Maxent
ENFA	Biomapper	Support vector machines	OpenModeller
Envelope scores	OpenModeller		

Los registros obtenidos se separaron al azar, de forma que se utilizó el 75% para generar los modelos. Las demás características necesarias para generar los modelos (número de repeticiones, valor de convergencia, etc) fueron las recomendadas para cada modelo en los diferentes programas utilizados. El 25% restante de los datos, se utilizó para hacer la validación en el programa IDRISI andes edition. La cual se realizó con el método de “Relative Operating Characteristic” (ROC), también conocido como Area under the curve” (Dougherty *et al.*), este método ha probado ser uno de los mejores indicadores de la calidad de los modelos de distribución de especies (Jiménez-Valverde y Lobo 2007).

Con base en el proceso de validación, se eligieron los tres mejores modelos para crear un modelo de consenso por media ponderada. El cual, de acuerdo con las evaluaciones realizadas a los modelos de calidad de hábitat presenta resultados más robustos que los modelos utilizados de manera individual (Marmion *et al.* 2008, Marmion *et al.* 2009).

Para generar el modelo de consenso se utilizó el programa IDRISI andes edition. En este programa se ingresaron los mapas de los tres modelos seleccionados y se aplicó la fórmula:

$$WA = \frac{\sum (AUC_{m_i} * m_{i_j})}{AUC_{min}}$$

Donde:

WA. Es el mapa de la media ponderada

AUC_{m_i} . Valor de AUC correspondiente al modelo i

m_{i_j} . Mapa del modelo i

Para este caso:

$$WA_i = \frac{(AUC_{m1} * m_{1i}) + (AUC_{m2} * m_{2i}) + (AUC_{m3} * m_{3i})}{AUC_{m1} + AUC_{m2} + AUC_{m3}}$$

El mapa obtenido del proceso de consenso se depuró con base en la historia evolutiva conocida de la especie en estudio. De esta manera, se eliminaron aquellos sitios donde se predice la ocurrencia de *H. horridum* pero que debido a la presencia de barreras geográficas no es probable encontrarla. Después se definió el punto de corte en los valores de probabilidad del mapa, con base en la propuesta de la media ponderada. Con este proceso se reclasificó el mapa de probabilidades en cuatro tipos de hábitat que reflejan la idoneidad del ambiente para *H. horridum*. Cada tipo de hábitat está limitado por un intervalo de valores de probabilidad de ocurrencia de *H. horridum*. El intervalo de cada clase es definido a partir del método de la media ponderada. Este mapa fue considerado como el mapa de la distribución potencial de *H. horridum*.

Con el mapa de distribución potencial, se analizó la continuidad, la ubicación y el tamaño de las zonas de distribución de *H. horridum* para identificar zonas principales (continuas y de mayor tamaño), secundarias (discontinuas y de menor tamaño) y de interés especial (zonas de ocurrencia no confirmada).

Posteriormente, se utilizaron los programas ArcView GIS 3.2 e IDRISI andes edition para combinar el mapa de distribución potencial de *H. horridum* con un mapa de las áreas naturales protegidas (ANP's) en toda la distribución de la especie así como de las regiones terrestres prioritarias (RTP's) en México, con lo cual se identificó el área de distribución de la especie que se encuentra protegida y se asoció a los diferentes grados de idoneidad.

Uso de hábitat y amplitud de nicho

El mapa generado por el modelo MAXENT y el mapa de distribución potencial, se utilizaron para analizar la importancia de cada variable en la distribución *H. horridum*. Para esto, se seleccionaron las variables de más importancia, de acuerdo al modelo MAXENT, de manera que se incluyó aproximadamente el 80% de la información que determina la distribución propuesta para la especie por este modelo.

Para el análisis de los resultados de MAXENT, se utilizaron las curvas de respuesta marginal. Las cuales, permiten identificar visualmente el rango o rangos de valores de importancia para la presencia de la especie en estudio en cada variable y relacionarlos con valores de probabilidad de ocurrencia.

El mapa de distribución potencial, se utilizó en conjunto con los 101 registros de presencia de *H. horridum* para obtener el índice de uso de hábitat. En este mapa, se identificaron los valores mínimos y máximos para cada variable (Valdez *et al.*) con el programa Idrisi andes edition y con base en esto, se crearon 10 clases de igual

amplitud en cada variable. El índice de uso de hábitat se aplicó de acuerdo a lo propuesto por Neu *et al.* (1974), con las modificaciones propuestas por Monroy-Vilchis *et al.* (2009). Se utilizó la fórmula:

$$IUH = f_o - f_e$$

Donde:

IUH: Índice de uso de hábitat

f_o : Número de registros de la especie en cada clase

f_e : Número de registros esperados en cada clase

La frecuencia observada se calculó con la fórmula:

$$f_e = A_r * N$$

Donde:

f_e : Frecuencia esperada

A_r : Área relativa de la clase

N : Número total de registros

A su vez, el área relativa se calculó con la fórmula:

$$A_r = A_{r_c} / A_{r_t}$$

Donde:

A_r : Área relativa de la clase

A_{r_c} : Área de la clase

A_{r_t} : Área de distribución potencial de *H. horridum*

Los resultados fueron utilizados para evaluar el uso de hábitat de cada clase en las cinco variables. Para determinar la confiabilidad del análisis, se aplicó una prueba de "G" (Garshelis 2000), con una confianza de 95%.

Para el análisis de amplitud de nicho, también se utilizó el mapa de la distribución potencial de *H. horridum*, en este análisis se utilizaron los cuatro tipos de hábitat identificados en el mapa de consenso mediante la media ponderada. Estos tipos de hábitat se consideraron como clases para el análisis. La fórmula utilizada fue la propuesta por Hurlbert, tomada de Krebs (1999).

$$B' = 1 / \sum (p_j^2 / a_j)$$

Donde:

B'. Amplitud de nicho de Hurlbert

p_j. Proporción de individuos encontrados en el recurso j (clase)

a_j. Proporción del total de recursos disponibles del recurso j

Para facilitar la interpretación de este resultado, B' se estandarizó con la fórmula:

$$B'_A = (B' - a_{\min}) / (1 - a_{\min})$$

Donde:

B'_A. Amplitud de nicho estandarizado de Hurlbert

B'. Amplitud de nicho de Hurlbert

a_{min}. La proporción más pequeña de todos los recursos

Resultados

Registros de presencia

Se obtuvieron 288 registros de presencia de *H. horridum* de las diferentes fuentes consultadas, del muestreo (cuadro 7), un registro del estado de Morelos (Fernando Urbina, com. Pers), adicionalmente, durante este estudio se obtuvo información de la presencia de *H. horridum* en dos localidades donde no había sido registrado previamente. Uno de los sitios se conoce como “El platanar”, pertenece al municipio de Malinalco, Estado de México. Este municipio está ubicado en el extremo sureste del estado, en los límites con el estado de Morelos. El otro sitio se encuentra en la ciudad de Arcelia, municipio del mismo nombre. Esta ciudad está ubicada en la parte norte del estado de Guerrero, en la región de tierra caliente. Se realizaron dos salidas a cada uno de estos sitios para confirmar esta información y se procedió de la misma forma que en la sierra Nanchititla.

Estos datos se depuraron con base en la descripción detallada en los métodos. Con esto, se obtuvieron 101 registros de presencia realizados a partir de 1990 y con coordenadas geográficas confiables. Con estos registros, se realizaron los modelos de distribución potencial de *H. horridum*.

Cuadro 7. Registros de presencia de *H. horridum* obtenidos en las diferentes fuentes consultadas.

Fuente	Número de registros
Colecciones herpetológicas	189
Literatura	14
Investigaciones científicas	74
Muestreo	10

Modelos de distribución potencial y protección de *H. horridum*

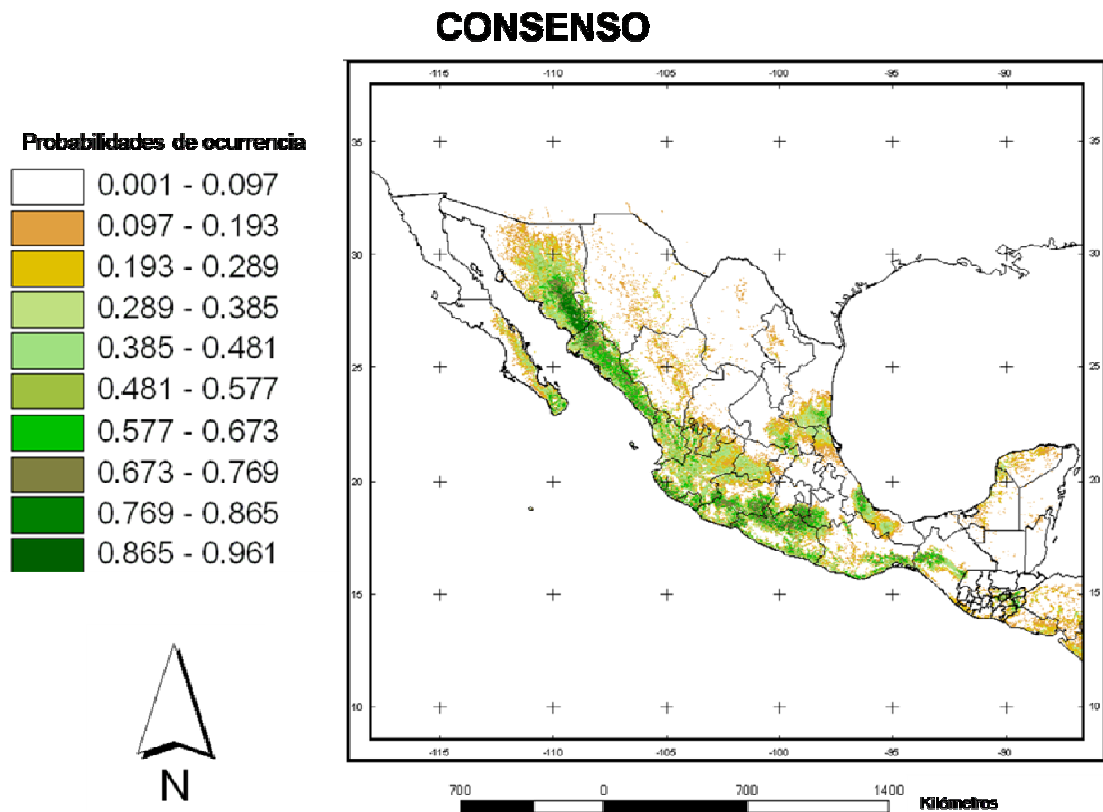
Se obtuvieron nueve mapas de distribución potencial, correspondientes a cada modelo aplicado (anexo 1). Todos los modelos se validaron con la prueba de área bajo la curva, se obtuvo que el valor de AUC más bajo lo presentó el modelo "Bioclim" (0.854) y el más alto "MAXENT" (0.976). De los nueve modelos aplicados, se eligieron los tres con mejor desempeño (MAXENT, support vector machines y environmental distance) con base en la prueba de validación y con ellos se realizó el modelo de consenso. Posteriormente se validó este modelo y los resultados mostraron que presenta un mejor desempeño que los modelos individuales (0.989; cuadro 8).

Cuadro 8. Valores de AUC de cada modelo (* modelos utilizados, ** modelo de consenso).

Modelo	AUC
Artificial neural networks	0.948
Bioclim	0.854
Climate space model	0.959
ENFA	0.899
Envelope scores	0.863
*Environmental distance	0.965
GARP	0.920
*MAXENT	0.976
*Support vector machines	0.973
**Consenso	0.989

Con los modelos seleccionados se obtuvo el mapa de consenso. En este mapa, toda el área recibe una probabilidad de ocurrencia de la especie en valores de continuos de 0 a 1. Se espera que las zonas con valores cercanos a 1 sean las más apropiadas para la presencia de la especie en estudio (figura 6).

Figura 6. Mapa de consenso, se muestran los valores de probabilidad de ocurrencia de *H. horridum*.



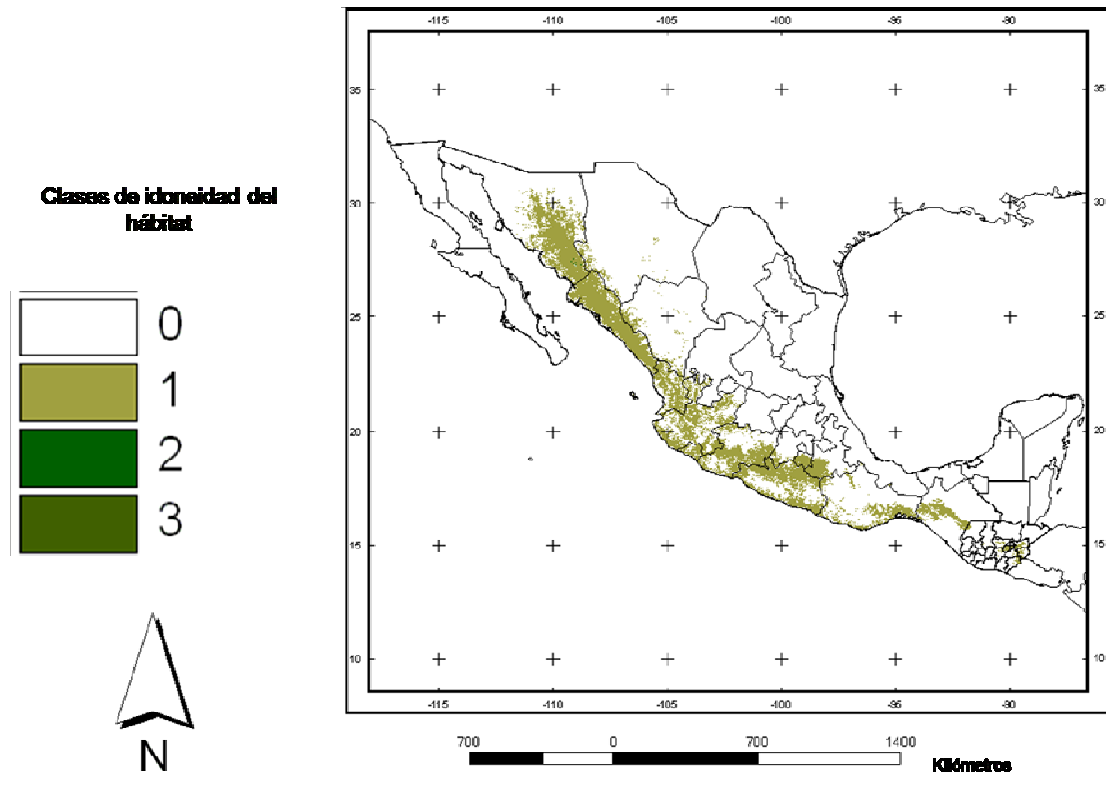
El mapa de consenso se depuró y se reclasificó para obtener el mapa de distribución potencial de *H. horridum*. El área potencial de distribución de esta especie es de 370 474 km² de acuerdo con este modelo. En el mapa de la distribución potencial se observa que *H. horridum*, se encuentra limitado a la parte occidental y central de México en los estados: Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, México, Morelos, Puebla, Oaxaca y Chiapas. En Guatemala la distribución incluye el departamento Huehuetenango en la parte este y los departamentos: Quiché, Chimaltenango, Baja Verapaz, Guatemala, el Progreso, Jalapa, Zacapa, Chiquimula y Jutiapa en el suroeste (figura 7).

Posteriormente, se realizó la reclasificación del mapa de consenso, la cual se definió a partir del punto corte. Este punto, se estableció en el valor de probabilidad de 0.332

con base en el método de media ponderada. Con la reclasificación, se obtuvieron tres clases de hábitat en el mapa de distribución potencial (cuadro 9). La categoría 1 del hábitat corresponde a los sitios de probabilidad de ocurrencia más baja y la categoría 3 a los sitios de probabilidad de ocurrencia más alta. La categoría 1 presenta una extensión mucho mayor que las otras dos categorías, representa más del 99% de la distribución total. La categoría 3 es la de menor extensión y representa menos del 0.01% de la distribución estimada para *H. horridum*. Las categorías presentan diferentes amplitudes debido al método utilizado para definir las. Los límites de las categorías se relacionan con el porcentaje de registros. De manera que la categoría 1 inicia en el valor de probabilidad en el cual se encuentra el primer registro (punto de corte) y su límite superior, corresponde al valor de probabilidad que incluye el 50% de los registros. El límite superior de la categoría 2 corresponde al 75% de los registros y el límite superior de la categoría 3 al 100%.

Figura 7. Mapa de distribución potencial de *H. horridum*, se muestran las categorías de idoneidad del hábitat para *H. horridum*.

Distribución potencial de *H. horridum*



Cuadro 9. Categorías de idoneidad del hábitat del modelo de consenso

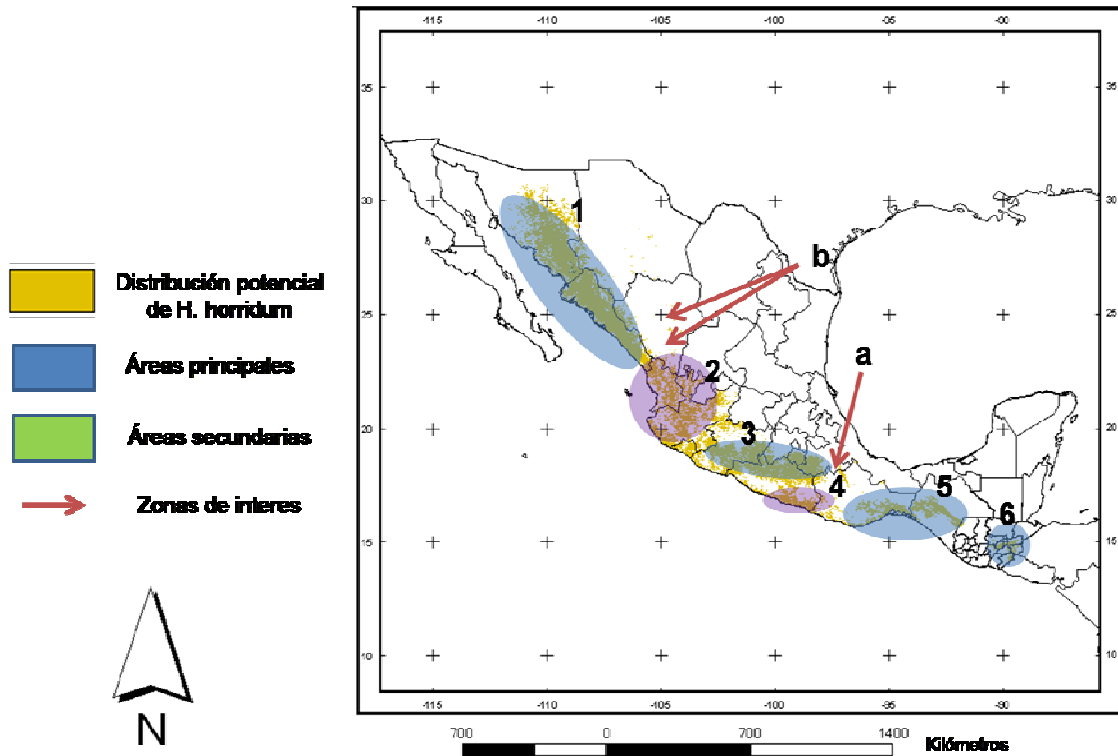
Categoría de hábitat	Amplitud de la categoría (valores de probabilidad de ocurrencia)	Área (km ²)	Porcentaje
1	0.332 a 0.897	370114	99.902
2	0.897 a 0.932	339	0.091
3	0.932 a 1.0	21	0.006
Total		370474	99.999

En el mapa de distribución potencial se observa que la distribución de *H. horridum* está fragmentada de la siguiente manera: en la parte norte, se observa un área continua que va del centro de Sonora hasta el norte de Nayarit (zona 1). En el centro y sureste de Durango se observan pequeños parches de hábitat potencial (b). En el sur de Nayarit inicia otra zona que incluye casi totalmente a Jalisco y Colima (zona 2). Esta zona, se observa fragmentada, en su mayoría. Dentro de la misma zona, se observa una región continua que se localiza a lo largo de la costa de Jalisco y Colima. En el centro del país, se observa otra zona de distribución potencial que inicia en la parte suroeste de Jalisco, continua por Michoacán, Guerrero, México, Morelos, Puebla y la parte noreste de Oaxaca (zona 3). Al sur de esta zona, se observa una región de distribución potencial que se extiende por la costa de Guerrero y hasta los límites con Oaxaca (zona 4). En el suroeste de Puebla y norte de Oaxaca, se observa una pequeña zona de distribución potencial (a). En el oeste de Oaxaca inicia otra zona de distribución que atraviesa Chiapas por su parte central y termina en Guatemala en el departamento Huehuetenango (zona 5). La última zona de distribución potencial (zona 6), se encuentra en la parte suroeste de Guatemala e incluye los departamentos: Quiché, Chimaltenango, Baja Verapaz, Guatemala, el Progreso, Jalapa, Zacapa, Chiquimula y Jutiapa (figura 8).

En el mismo mapa también se notan las zonas en las cuales se interrumpe la distribución de *H. horridum*. En el sur del estado de Michoacán se observan dos zonas de ausencia de esta especie y una más en el norte. Otra zona de interrupción se localiza en la parte central de Guerrero. En la región oeste de Guerrero las regiones este y noroeste de Oaxaca, se encuentra la más notable de las zonas de interrupción de México. Finalmente, en la frontera de México con Guatemala se observa una importante interrupción de la presencia de esta especie que continua hasta la parte suroeste de Guatemala donde se localiza la zona más sureña de presencia de *H. horridum*.

Figura 8. Zonas principales y secundarias de distribución potencial de *H. horridum*.

Zonas Principales y secundarias de distribución



El área de distribución de *H. horridum* que se encuentra protegida se obtuvo al combinar el mapa de distribución potencial con las áreas naturales protegidas de México y Guatemala (figura 9), así como con las regiones terrestres prioritarias de México (figura 10). Se identificaron 15 ANPs en México, 16 en Guatemala y 40 RTPs que protegen la distribución potencial de *H. horridum* (anexo 2).

Figura 9. Distribución potencial de *H. horridum* incluida en áreas naturales protegidas (mostradas en azul).

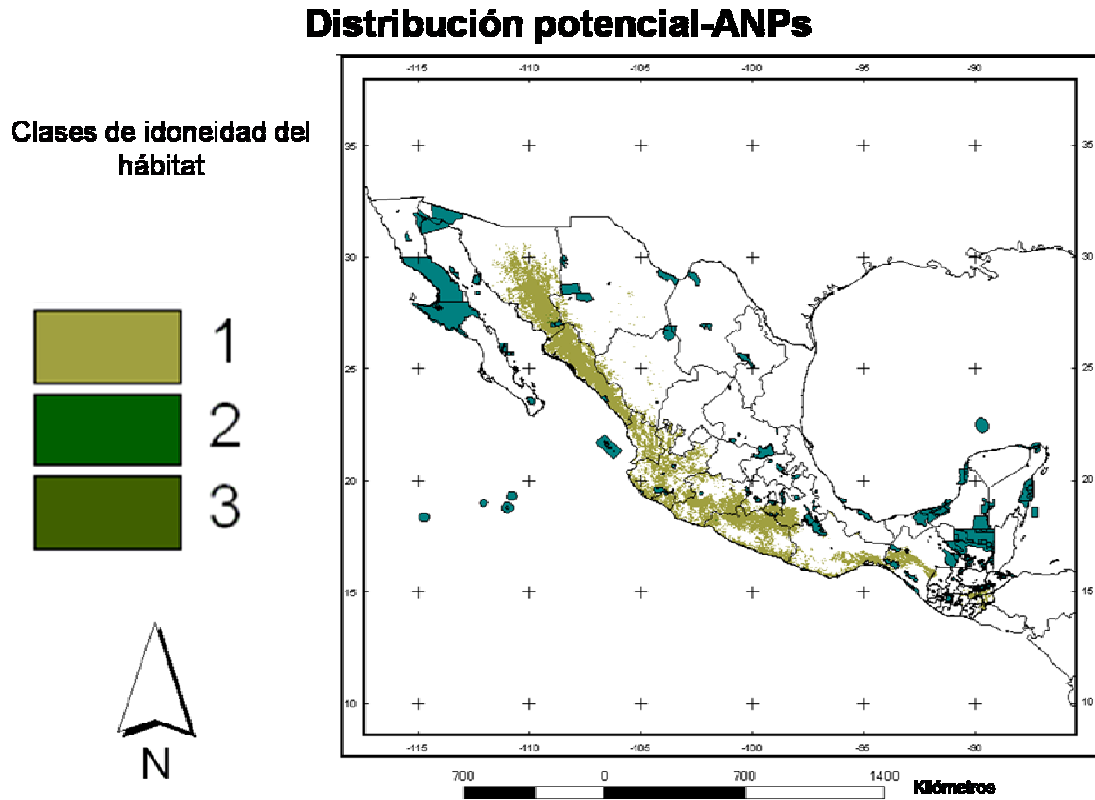
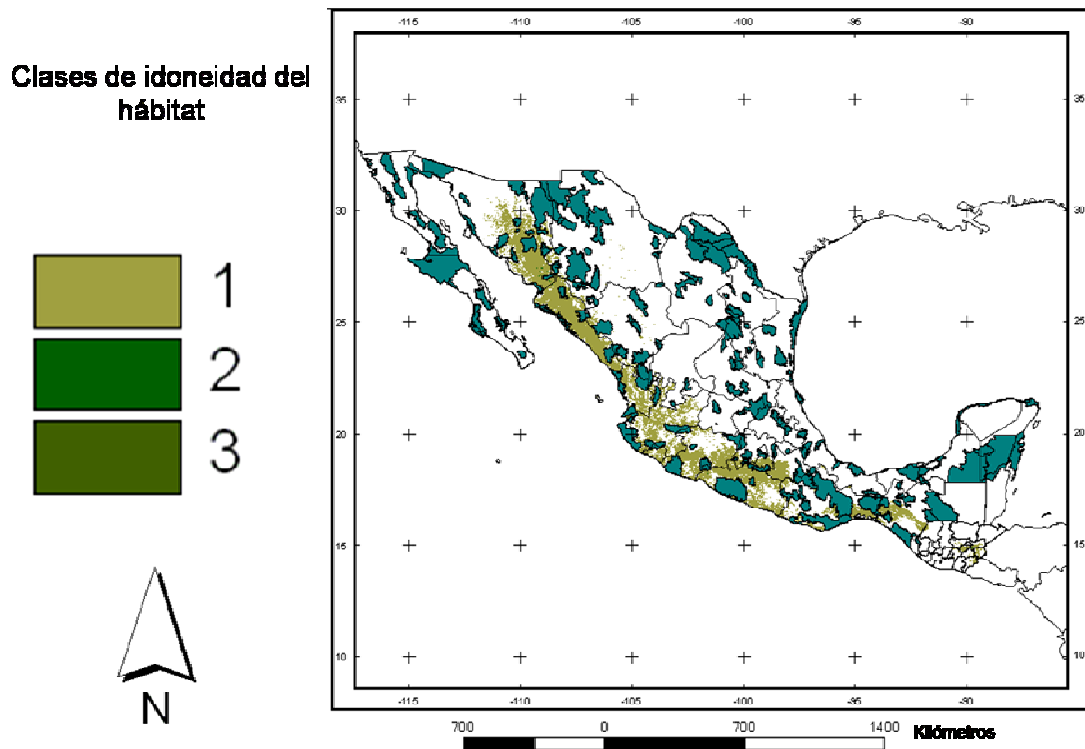


Figura 10. Distribución potencial de *H. horridum* incluida en regiones terrestres prioritarias (mostradas en azul).

Distribución potencial-RTPs



Con los mapas de protección se obtuvo el área total protegida para cada grado de idoneidad de la distribución potencial. Tanto para ANPs como para RTPs, la categoría 1 fue la de mayor extensión, esta representa más del 99% del área potencial protegida y la 3 fue la de menor extensión con menos del 1% (Cuadro 10).

Cuadro 10. Área protegida para cada categoría de idoneidad del hábitat de *H. horridum*.

Idoneidad del hábitat	Área protegida en ANP's (km ²)	Porcentaje	Área protegida en RTP's (km ²)	Porcentaje
1	5530	99.175	60547	99.894
2	42	0.753	57	0.094
3	4	0.071	7	0.011
Total	5576	99.999	60611	99.999

Uso de hábitat y amplitud de nicho

Las variables de mayor importancia de acuerdo con el modelo MAXENT fueron: la cobertura de suelo desnudo, el porcentaje de precipitación en la época de sequía, la cobertura de vegetación perene, el porcentaje de precipitación en la época lluviosa y la precipitación mínima en la época lluviosa. En conjunto, estas variables aportaron el 78.2% de la información necesaria para generar el modelo maxent (cuadro 11). Las curvas de respuesta marginal (figura 11) en conjunto con el punto de corte (0.332) permitieron reconocer el rango aproximado de valores de cada variable en los cuales se espera que ocurra *H. horridum* (cuadro 11).

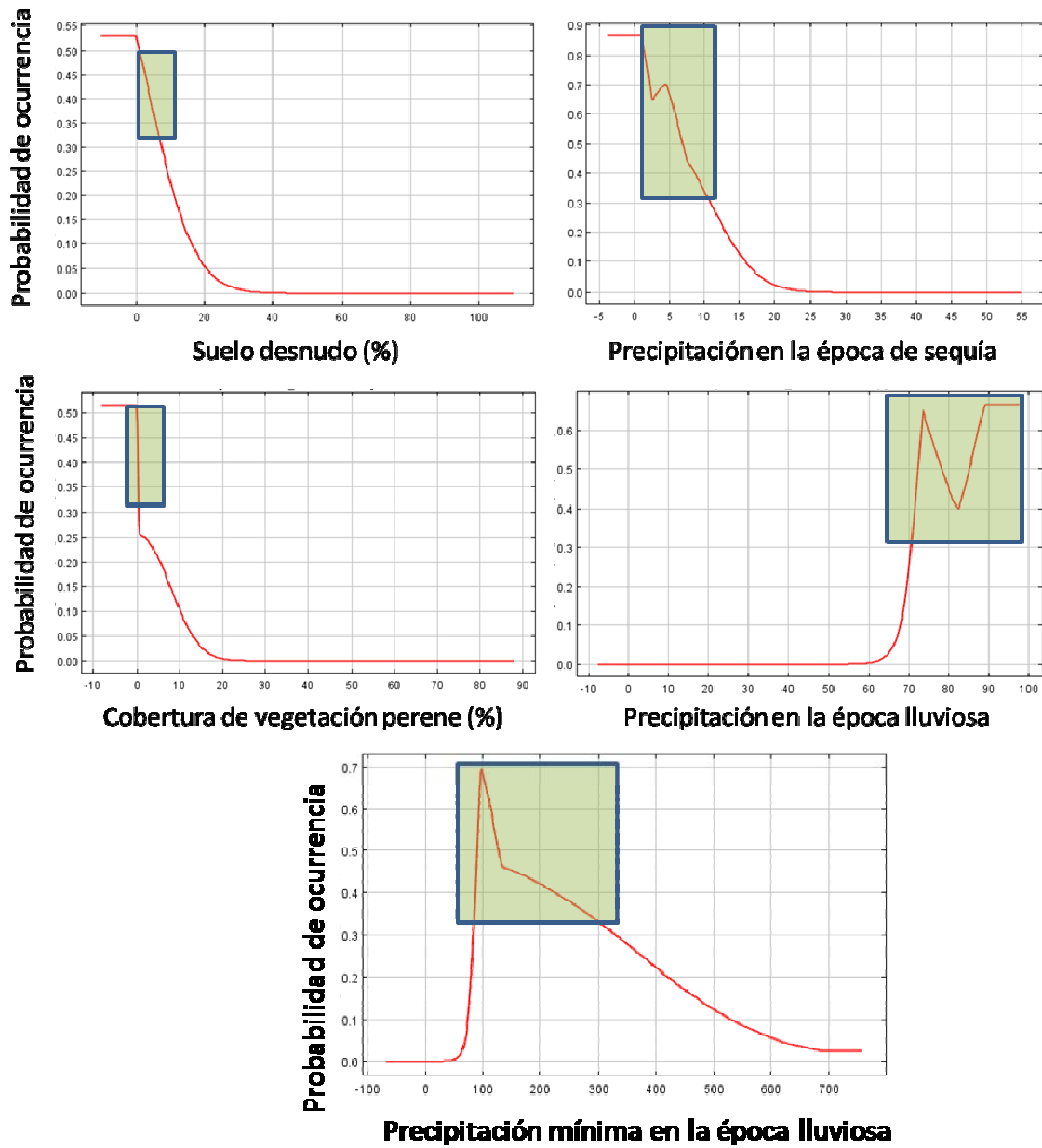


Figura 11. Curvas de respuesta marginal de las cinco variables de mayor importancia (el área coloreada representa la presencia de *H. horridum*).

Cuadro 11. Aporte de las variables de mayor importancia e intervalos en los que se espera la presencia de *H. horridum* con base en el modelo MAXENT.

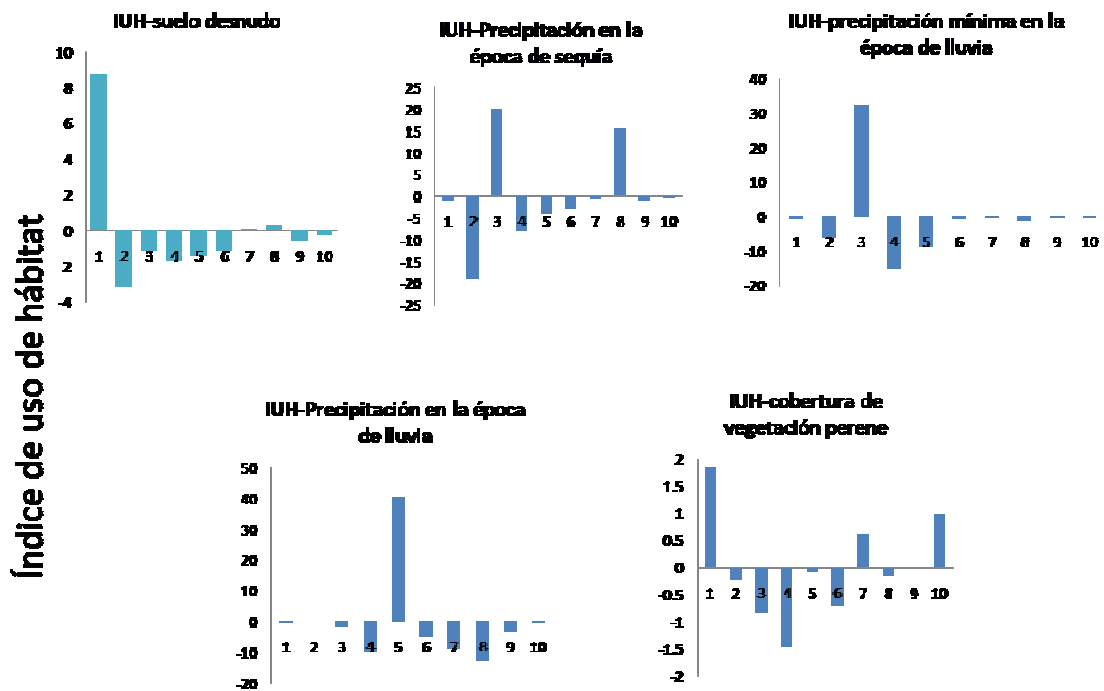
Variable	Aporte al modelo (%)	Intervalo de ocurrencia de <i>H. horridum</i>
Suelo desnudo	19.8	0-10 %
Precipitación en la época de sequía	19.6	0-10 %
Cobertura de vegetación perene	17.4	0 %
Precipitación en la época lluviosa	13.1	70-100 %
Precipitación mínima en la época lluviosa	8.3	90-300 mm

La variable que presentó un mayor aporte al modelo maxent, fue la de “suelo desnudo” (19.8%). La segunda variable en importancia, “precipitación en la época de sequía” aportó valores muy cercanos a la primera (19.6%). La variable de menor importancia que fue incluida para este análisis “precipitación mínima en la época lluviosa”, tuvo un aporte de 8.3%.

Los intervalos en los que se espera la ocurrencia de *H. horridum*, se pueden considerar estrechos para las primeras tres variables de importancia. En la cuarta variable, este intervalo representa el 30% de las condiciones disponibles en el ambiente y para la variable de menor importancia, el intervalo representa casi el 50% del gradiente de la variable (cuadro 6).

El análisis de uso de hábitat permitió reconocer con mayor detalle los intervalos de cada variable que son de importancia para la presencia de *H. horridum* (figura 12). En el índice de uso de hábitat, se interpreta que las clases con valores positivos son “preferidas” por la especie, mientras que las clases con valores negativos son

“evitadas” y los valores cercanos a cero indican un uso en proporción al área disponible de la clase.



Clases de las variables

Figura 12. Índice de uso de hábitat de las cinco variables más importantes para la distribución de *H. horridum*.

El índice de uso de hábitat, muestra que *H. horridum* hace un uso selectivo en todas las variables analizadas. Es decir, esta especie “prefiere” ciertas clases y evita otras en todas las variables. En tres variables (suelo desnudo, precipitación mínima en la época de lluvia y precipitación en la época de lluvia), se presenta una preferencia por una clase. En la variable “precipitación en la época de sequía” se presenta una preferencia por dos clases y en la “variable cobertura de vegetación perene” se presenta una preferencia por tres clases. Con base en el número de clases y los valores del índice de uso de hábitat, se puede decir que la evasión de condiciones ambientales es más notable en las variables: Precipitación en la época de lluvia,

precipitación en la época de sequía y precipitación mínima en la época de lluvia (figura 12).

La prueba de “G”, reveló que los resultados del análisis de uso de hábitat se pueden considerar confiables ($p < 0.05$, $gl = 9$) para las variables: precipitación en la época de sequía ($G = 81.418$), precipitación en la época de lluvia ($G = 97.026$) y precipitación mínima en la época de lluvia ($G = 53.944$). La amplitud de nicho estandarizada obtenida fue 0.001 lo que indica que *H. horridum* es altamente especialista.

Discusión

Modelos de distribución potencial y protección de *H. horridum*

Con base en la prueba de validación, se puede decir que los modelos aplicados para realizar el análisis de consenso tienen buena calidad. El modelo con un mejor desempeño fue Maxent (0.976) seguido de support vector machines (0.973) y finalmente environmental distance (0.965). Algunos trabajos han sugerido que el modelo Maxent, es uno de los más robustos para analizar la distribución de las especies por lo que se esperaba que este quedara incluido dentro de los tres mejores modelos (Phillips *et al.* 2005, Elith *et al.* 2006, Papes y Gaubert 2007, Pearson *et al.* 2007). Así mismo, se ha reportado que modelos como Bioclim, Garp y Enfa tienen un desempeño pobre por lo que no se esperaba que quedaran incluidos para realizar el modelo de consenso (Elith *et al.* 2006, Hernandez *et al.* 2006). Sin embargo, también ha sido sugerido que el modelo de redes neuronales artificiales presenta resultados robustos (Elith *et al.* 2006), en este estudio, en valor de la validación de este modelo fue de 0.948, este puede considerarse como bueno pero no fue incluido para realizar la prueba de consenso debido a que se consideró que incluir más de tres modelos podría disminuir la calidad del resultado.

En cuanto al modelo de consenso, de acuerdo con la prueba de validación, presentó un resultado mejor al de los modelos individuales (0.989). Debido a ello, se espera que la distribución propuesta por este modelo sea más cercana a la realidad que la propuesta por los modelos por separado.

El mapa de consenso muestra varias zonas con hábitat potencial, que fueron eliminadas en el proceso de depuración para generar el mapa de distribución potencial. Se entiende por hábitat potencial aquellas zonas que presentan condiciones apropiadas para el establecimiento de poblaciones de la especie aún si éstas se encuentran fuera de su distribución. Estas zonas se eliminaron con base en la historia evolutiva conocida de la especie (Pregill *et al.* 1986, Beck 2005), la mayoría de ellas se localizan en la vertiente del Atlántico y una en la costa este de Baja California Sur (figura 6). En general se asume que *H. horridum* invadió México por su parte occidental y debido a la presencia de barreras geográficas principalmente altitudinales, la región oriental del país no ha sido invadida (Pregrill *et al.* 1986, Beck 2005). En cuanto al hábitat presente en Baja California Sur, la barrera probable para su colonización es el mar.

De acuerdo a este modelo, la única población aislada de *H. horridum* es la que se encuentra en Guatemala. Al respecto, probablemente esta especie colonizó este sitio cuando la selva baja era más abundante que en la actualidad y formaba un ambiente continuo entre México y centro América y quedó aislada durante la formación de la cordillera volcánica del sureste de Guatemala (Graham 1995, Campbell 1988).

El mapa de distribución potencial obtenido en este estudio (figura 7), muestra una distribución potencial para *H. horridum* que en general coincide parcialmente con la distribución histórica propuesta por Bogert y Martín del Campo (1956) y posteriormente por Beck (2005). Sin embargo, los resultados de este estudio muestran algunas diferencias importantes. Debido a la actualidad y precisión de ambos trabajos, las

comparaciones de este estudio se realizarán con la distribución propuesta por Beck (2005; figura 2).

La distribución histórica establece el límite norte de la distribución de *H. horridum* cercano a la frontera entre Sonora y Sinaloa. En este estudio se propone que el hábitat potencial se extiende más al norte y al oeste, de manera que se forma un área que incluye casi toda la región oriental de Sonora y que ocupa también zonas pequeñas de la parte suroeste de Chihuahua. En Chihuahua, esta especie ya había sido reportada (Lemos-Espinal 2007), sin embargo, no se pudieron incluir estos registros en el análisis. Por otra parte, en la distribución histórica se propone que *H. horridum* no llega al estado de Durango. Los resultados de este trabajo muestran que el hábitat potencial de esta especie si se encuentra en este estado, aunque en zonas muy pequeñas. Estas se pueden observar en la parte noroeste del estado en la frontera con Sinaloa, en la parte suroeste en la frontera con Nayarit y hacia el noreste bordeando la parte este de la sierra madre occidental en forma de pequeños parches (área 1 de la figura 8). Es importante mencionar que recientemente se registró un individuo de esta especie en el sur de este estado (Muñiz-Martínez y Rojas-Pérez 2009). Este registro no se incluyó en este trabajo debido a que no se pudo obtener la localidad exacta de la colecta pero se estima que puede quedar incluido en el hábitat potencial propuesto en este trabajo.

Los estados de Nayarit y Jalisco son considerados parte de la distribución histórica de manera que Nayarit se incluye casi totalmente con excepción de la parte este del estado mientras que para Jalisco se incluye la costa y una pequeña zona en el norte. Los resultados de este estudio muestran que la costa de Nayarit no presenta hábitat potencial para *H. horridum* y que este se localiza hacia el este del estado y llega hasta la frontera con Zacatecas y Jalisco. Para Jalisco, además de la costa se incluye casi la totalidad del estado. Sin embargo es importante recalcar que el hábitat potencial

presente en esta zona se observa fragmentado. En el estado de Colima, la distribución histórica y la propuesta en este trabajo son coincidentes, de manera que se incluye casi todo el estado (área 2 de la figura 8).

En Michoacán, la distribución histórica incluye toda la costa y parte del centro del estado. En este trabajo se propone que la costa presenta hábitat potencial pero en menor cantidad de lo estimado por la distribución histórica, mientras que en la parte central es más amplio. En el estado de Guerrero, la distribución histórica propone dos zonas, una en el norte que se extiende hasta el sur del estado de México y el centro de Morelos y la otra a lo largo de la costa donde continúa hasta Chiapas. En este estado se forman dos ramas, una continua por la costa y termina cerca de la frontera con Guatemala. La otra rama atraviesa el estado por su parte central y llega hasta Guatemala. Los resultados de este trabajo muestran que la zona norte de distribución en Guerrero es mucho más amplia a lo propuesto. También se incluye una mayor parte del estado de México y del de Morelos, se incluye también una parte amplia de Puebla que se extiende casi hasta el centro de este estado y se incluye también una pequeña porción del noreste de Oaxaca (área 3 de la figura 8). Esta región forma un área que también es continua con la encontrada en el centro del estado de Michoacán y forma un área que coincide con la provincia biogeográfica de la depresión del Balsas (Conabio 2007). La parte de la costa presenta hábitat potencial pero este es menor al propuesto por la distribución histórica (área 4 de la figura 8). Entre la región de la cuenca del Balsas y la de la costa de Guerrero se observa una zona de conexión en la parte oeste de este estado. En cuanto a la continuidad de la distribución por la costa, los resultados muestran que el hábitat potencial es muy escaso en la costa este del estado de Oaxaca. En la parte oeste de este estado, el hábitat es más abundante, continúa por el centro de Chiapas y llega hasta la frontera con Guatemala (área 5 de la figura 8). En esta zona la distribución histórica y la obtenida en este trabajo son coincidentes.

La distribución de esta especie en Guatemala no se puede detallar debido a la precisión manejada por Beck (2005) sin embargo, parece que en esta región la distribución histórica y la obtenida en este trabajo son coincidentes y queden incluidas en el valle Montagua como lo indican Campbell y Vannini (1988).

En la figura 8, se muestra con una flecha roja una zona de distribución potencial localizada en el norte de Oaxaca y que llega hasta Puebla, esta zona se encuentra aislada por la presencia de dos cordilleras importantes, el eje neovolcánico transversal y la sierra madre del sur (Conabio 2007). Sin embargo, debido a la distancia de este sitio con el hábitat potencial se considera probable que en este sitio pudieran encontrarse estos animales. Las principales barreras para la dispersión de *H. horridum* a este sitio serían la altitud y el tipo de vegetación. Al respecto, es importante señalar que el límite altitudinal de las poblaciones de estos animales no ha sido bien definido. Recientemente, se reportó la presencia de estos animales a una altitud de 1861 m. (260 m. más elevado de lo que se pensaba era su límite altitudinal) y en un bosque de pino-encino (Monroy-Vilchis *et al.* 2005). Con base en los resultados de este estudio, se puede decir que es poco probable que en este tipo de ambiente se puedan mantener poblaciones viables de estos animales, sin embargo, es probable que sean capaces de dispersarse a través de ellos debido a su elevada capacidad de movimiento y de mantenerse sin alimento por largos periodos y alcanzar sitios más apropiados (Beck y Lowe 1994, Beck *et al.* 1995).

El hábitat potencial de *H. horridum* coincide en gran medida con la distribución de las selvas bajas de México (Trejo 2005). Con excepción de dos regiones: una está localizada en la costa este de baja California sur y se extiende desde la Paz hacia el norte casi hasta la frontera con baja California. La otra zona donde no hay coincidencia con las selvas bajas se encuentra en la en la costa sur de Sonora y se extiende hacia el sur hasta la parte central de la costa de Sinaloa. Sin embargo,

Challenger (1998) identifica estas regiones como pertenecientes a la zona ecológica tropical subhúmeda de México. De acuerdo al autor, esta zona se caracteriza por una estacionalidad marcada y esta dominada por la selva baja caducifolia y la selva mediana subperenifolia. En Guatemala, la zona de distribución de *H. horridum* esta considerada como un bosque tropical seco (Murphy y Lugo 1995, Ariano-Sánchez 2003) y presenta características muy similares a la selva baja caducifolia de México (Murphy y Lugo 1995). Por lo tanto, se confirma que el principal tipo de vegetación en el que se encuentran estos animales es la selva baja caducifolia (Beck 2005). Sin embargo, los resultados de este estudio indican que en general los ambientes que presentan una estacionalidad marcada son apropiados para albergar esta especie. Con base en lo anterior, se puede decir que la distribución de *H. horridum* coincide ampliamente con ambientes de características similares a los de la zona ecológica tropical subhúmeda propuesta por Challenger (1998) para México.

El área de distribución potencial de *H. horridum* se estimó en 370 474 km², de los cuales, el 99.902% se encuentran dentro de la categoría 1 de idoneidad de hábitat, este resultado parece estar sesgado debido a que la mayoría de los registros se localizan en pocas regiones (sur de Sonora, Jalisco, Estado de México, Guerrero y Guatemala). Aun cuando el modelo de aplicado ha demostrado que es robusto ante situaciones similares (Guisan y Zimmermann 2000, Phillips *et al.* 2005, Marmion *et al.* 2009), es recomendable tratar de obtener registros recientes de esta especie en las zonas donde han sido escasos o nulos en los últimos 20 años para poder obtener un resultado que permita determinar con mayor confianza la idoneidad del hábitat de los escorpiones.

En cuanto a la protección de esta especie, las ANPs están protegiendo 5576 km², y las RTPs 60611 km². El área total protegida para esta especie representa aproximadamente el 17.865% de su distribución potencial. Al respecto cabe señalar

que en algunos sitios las ANPs y las RTPs se sobrelapan por lo que el área protegida es un poco menor a lo estimado. Es importante aclarar que debido a que la distribución de esta especie coincide ampliamente con la selva baja caducifolia, esto es un reflejo de la baja protección de este tipo de vegetación y de la biodiversidad que aquí se mantiene como ya lo han mencionado otros autores (Janzen 1988, Lugo 1988, Myers 1988, Ceballos 1995, Challenger 1998). En este sentido ha sido reconocido que las ANPs del país no protegen la biodiversidad y con base en esta situación se propusieron las RTPs. Sin embargo, debido a su reciente creación se puede considerar que el manejo de estas áreas es incipiente y de acuerdo con este estudio estas regiones no protegen a *H. horridum*. Con base en este resultado, se demuestra que es necesario incrementar el área protegida de esta especie y con ello contribuir a la protección de la selva baja caducifolia. Para ello, con base en los resultados de este estudio se propone que las áreas para la protección de esta especie se localicen en las áreas principales de su distribución identificadas en la figura 8. La localización exacta y el tamaño de las áreas para proteger a estos animales deben ser definidas en estudios locales que analicen con detalle la viabilidad de las poblaciones de *H. horridum*. Es importante mencionar que la protección de esta especie, puede ser de utilidad para planes de manejo y conservación de fauna silvestre en general, debido a que sus poblaciones requieren de ambientes conservados (alto porcentaje de coberturas vegetales, base de presas adecuada, etc) y por lo tanto, su presencia puede indicar ambientes saludables.

Uso de hábitat y amplitud de nicho

Los resultados del modelo MAXENT, indican que cinco de las variables utilizadas en este estudio se pueden considerar determinantes en la presencia de *H. horridum*. El estudio indica que las variables utilizadas fueron elegidas correctamente ya que han

proporcionado resultados cercanos a lo esperado en las hipótesis y a lo reportado para esta especie (Riitters *et al.* 1995, Pulliam 2000, Peterson *et al.* 2002, Beck 2005, Román *et al.* 2006). Al mismo tiempo, la resolución usada resultó apropiada para relacionar el efecto de las variables elegidas con la presencia de los escorpiones. Probablemente debido a la amplitud del ámbito hogareño reportado para estas lagartijas (Beck y Lowe 1991). Algunas de las variables incluidas no tuvieron ningún aporte al modelo por lo que la cobertura de árboles y herbáceas pueden ser descartadas en estudios futuros.

La variable de mayor importancia fue la cobertura del suelo. La curva de respuesta marginal de esta variable muestra que *H. horridum* se encuentra en sitios donde el suelo desnudo representa del 0 al 10%, esto indica que esta especie se encuentra en ambientes que presentan algún tipo de cobertura vegetal. Cabe mencionar que para este estudio se incluyeron variables con información de diferentes tipos de estratos vegetales, sin embargo de acuerdo a los resultados, estos animales no muestran preferencia por ninguno de ellos a la escala analizada. Este resultado es de mucha importancia debido a que sugiere que estos animales se encuentran en ambientes conservados. Los estudios realizados en Chamela, Jalisco, donde se encuentra selva baja caducifolia conservada, han mostrado que *H. horridum* está fuertemente asociado con la fauna nativa de esa zona, como un depredador especializado en crías y huevos de muchas especies, así como presa de muchas serpientes principalmente (Beck y Lowe 1991, Balderas-Valdivia 2002). Sin embargo, es necesario realizar estudios más detallados en diferentes zonas de la distribución de esta especie para poder afirmar esta hipótesis. A la fecha no existen estudios con esta especie que puedan aportar información al respecto pero existe uno realizado con *H. suspectum* que sugiere que la urbanización no afecta la presencia ni modifica algunos parámetros ecológicos de esta especie (Kwiatkowski *et al.* 2008). Es necesario reconocer que *H. suspectum* habita en sitios principalmente desérticos por lo que la comparación con *H. horridum* en este

aspecto puede resultar arriesgada. Durante este estudio se registraron dos individuos de *H. horridum* en las orillas de la ciudad de Arcelia, Guerrero, esta ciudad tiene una población aproximada de 20,000 habitantes, los registros sugieren la presencia de más animales de esta especie en las cercanías. Sin embargo el sitio de los registros se encuentra en la frontera de expansión de la mancha urbana y los habitantes de ese sitio en particular refirieron llevar ahí solo dos años, además de que ese sitio estuvo deshabitado y sin ningún uso por más de 10 años. Por lo anterior, resulta difícil plantear la idea de que estos animales mantienen poblaciones en áreas perturbadas por asentamientos humanos.

La segunda variable de importancia para la presencia de estos animales fue la precipitación en la época de sequía. Esta variable es un claro indicador de la estacionalidad ambiental. El resultado apoya la hipótesis ya planteada por otros autores (Beck 2005, Lovich y Beaman 2007) de que la estacionalidad es vital en la presencia de estos animales. Al respecto se puede agregar que el intervalo de ocurrencia de esta variable para la especie de estudio es muy estrecho (0-10%), esto nos sugiere que la existencia de una época muy seca puede ser importante para estos animales. Al respecto se ha planteado que la baja humedad ambiental puede estar relacionada con las necesidades de incubación de esta especie (Beck 2005). Además de que el mismo autor sugiere que los ambientes marcadamente estacionales pueden representar una ventaja para estos animales debido a su capacidad de mantenerse sin alimento por periodos largos.

La tercera variable en importancia para este estudio fue la cobertura de vegetación perene. Los resultados indican claramente que *H. horridum* no ocurre en sitios con vegetación perene, lo que confirma la preferencia de estos animales por la selva baja caducifolia. Es importante aclarar que en esta categoría se incluyeron tipos de vegetación como las selvas húmedas y los bosques de pino, sin embargo algunos

tipos de vegetación que presentan plantas perenes y caducifolias como el bosque de pino-encino quedaron fuera de esta categoría. En este tipo de bosque es probable encontrar individuos de esta especie (Bogert y Martín del Campo 1956, Monroy-Vilchis *et al.* 2005), aunque de acuerdo con este estudio, este tipo de vegetación no sea el más apropiado. Lo que hace suponer que este ambiente sea la línea crítica de la distribución de la especie.

La cuarta y quinta variable en importancia fueron relacionadas a la precipitación en la época de lluvia. Estas variables también fueron incluidas como indicadores de la estacionalidad del ambiente y en ese sentido, si se considera que tres de las cinco variables de mayor relevancia reflejan la estacionalidad ambiental, se puede decir que esta característica es indispensable para *H. horridum*.

En las curvas de respuesta de las variables de precipitación en la época de sequía y precipitación en la época de lluvia, se observan dos picos dentro del intervalo óptimo para la ocurrencia de *H. horridum*. Esto se interpreta como que la especie presenta ocurrencias en dos ambientes diferentes. Este resultado parece estar relacionado con las diferencias ecológicas de los sitios en los que ocurren las subespecies que integran *H. horridum*. De manera que para la primera variable mencionada, las subespecies más nortefías de esta especie (*H. h. exasperatum* y *H. h. horridum*) ocurren en sitios con menor precipitación mientras que las otras dos subespecies (*H. h. alvarezii* y *H. h. charlesbogerti*) ocurren en sitios con mayor precipitación. Para la variable de precipitación en la época de lluvia, la situación es inversa. De manera que las dos subespecies más nortefías ocurren en sitios con una mayor precipitación y las dos sureñas en sitios con menor precipitación. Es decir, las subespecies *H. h. exasperatum* y *H. h. horridum* habitan ambientes con estacionalidad más marcada que los ocupados por *H. h. alvarezii* y *H. h. charlesbogerti*.

El índice de uso de hábitat, permitió identificar con mayor detalle el uso de cada variable por parte de la especie. Sin embargo de acuerdo a la prueba de "G" los resultados solo se pueden considerar confiables para las tres variables relacionadas con la estacionalidad ambiental (precipitación en la época de sequía, precipitación en la época de lluvia y precipitación mínima en la época de lluvia). Para la precipitación en la época de sequía, los resultados muestran que la especie prefiere las clases 3 y 8, que corresponden con sitios de baja y alta precipitación respectivamente. En esta misma variable, se observa que no existe una preferencia por la clase 2 y las demás clases son usadas en proporción a su disponibilidad. Los resultados de preferencia parecen apoyar los resultados obtenidos por las curvas de respuesta de MAXENT. En cuanto a la no-preferencia detectada para la clase 2, sería necesario un estudio más detallado para determinar las causas de este efecto. En las variables de precipitación en la época de lluvia y precipitación mínima en la época de lluvia el índice de uso de hábitat detecto una preferencia por las clases 5 y 3 respectivamente y ligeras evasiones o uso en proporción en las demás clases, estos resultados parecen indicar que esta especie prefiere sitios con una tendencia media en cuanto a la precipitación en la época de lluvia pero que no evade marcadamente ninguna condición. Estos resultados, coinciden con el obtenido por el índice de amplitud de nicho el cual indica que *H. horridum* es altamente especialista (0.001). Es probable que la validez de estos dos análisis sea debatible si se considera la distribución de los registros, sin embargo el presente estudio pretende sentar las bases para futuros trabajos en cuanto al uso de hábitat por parte de estos animales. Por lo tanto se sugiere realizar este análisis en una escala menor para confirmar estos resultados con mayor precisión.

Conclusiones

1. La distribución potencial de *H. horridum* se asemeja a su distribución histórica conocida pero presenta varias zonas en las cuales no se esperaba su ocurrencia y otras donde con base en este trabajo ahora se descarta su presencia.
2. El modelo digital permitió reconocer que la distribución potencial de *H. horridum* esta escasamente protegida. El mismo modelo permitió identificar zonas de importancia para la conservación de esta especie en su rango de distribución. Son necesarios estudios más detallados para definir con mayor precisión los sitios apropiados para conservar a estos animales.
3. La clasificación del hábitat potencial en categorías de idoneidad no resultó práctica para este estudio, probablemente debido a la distribución de los registros.
4. La estacionalidad ambiental parece ser la limitante más importante en la distribución de los *H. horridum*. También se reconoció la cobertura del suelo como una variable de importancia para estos animales y sugiere que los ambientes conservados pueden ser más apropiados para los escorpiones.
5. El índice de uso de hábitat señala que *H. horridum* realiza una selección del hábitat en el que ocurre y se define como un especialista
6. Es necesario incrementar los estudios sobre estos lagartos para aumentar los registros que se obtengan de esta especie. Para ello, se recomienda que los investigadores dedicados al estudio de estos reptiles traten de involucrar a los habitantes de sus zonas de estudio en sus trabajos para incrementar los encuentros de estos animales y al mismo tiempo disminuir el impacto antropogénico sobre sus poblaciones.

Literatura citada

- Aguilar-Miguel, X., and G. Casas-Andreu. 2005. *Heloderma horridum* Wiegmann, 1829. CONABIO, México D. F.
- Aguilar-Miguel, X., O. Monroy-Vilchis, and G. Casas-Andreu. 2003. *Heloderma horridum horridum* (mexican beaded lizard). *Herpetological review* **34**:384.
- Anadón, J. D., A. Giménez, M. Martínez, J. A. Palazón, and E. M. A. 2007. Assessing changes in habitat quality due to land use changes in the spur-thighed tortoise *Testudo graeca* using hierarchical predictive habitat models. *Diversity and distributions* **13**:324-331.
- Anderson, R. P., A. T. Peterson, and M. Gómez-Laverde. 2002. Using niche-based GIS modeling to test geographic predictions of competitive exclusion and competitive release in south american pocket mice. *Oikos* **98**:3-16.
- Anderson, S. H., and K. J. Gutzwiller. 1996. Habitat evaluation methods. *in* T. A. Bookhout, editor. *Research and management techniques for wildlife and habitats*. The wild life society, Bethesda, Md.
- Ariano-Sánchez, D. 2003. Distribución e historia natural del escorpión, *Heloderma horridum charlesbogerti* Campbell y Vannini, (Sauria: Helodermatidae) en Zacapa, Guatemala y caracterización de su veneno Universidad del valle de Guatemala.
- Ariano-Sánchez, D. 2006. The guatemalan beaded lizard: endangered inhabitant of a unique ecosystem. *Iguana* **13**:178-183.
- Ariano-Sánchez, D. 2007. Notes on the distribution of the endangered lizard, *Heloderma horridum charlesbogerti*, in the dry forest of eastern Guatemala: an application of multi-criteria evaluation to conservation. *Iguana* **14**:152-158.
- Ariano-Sánchez, D. 2008a. El lagarto escorpión. *Boletín de la red de arriba*:2-3.
- Ariano-Sánchez, D. 2008b. Envenomation by a wild Guatemalan beaded lizard *Heloderma horridum charlesbogerti*. *Clinical toxicology* **46**:897-899.

- Arias, D. La selva baja caducifolia de Morelos. Voces y trazos de Morelos:13-16.
- Austin, M. P. 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological modelling* **157**:101-118.
- Balderas-Valdivia, C. J. 2004. Reconocimiento diferencial de los depredadores y variación del comportamiento defensivo de *Heloderma horridum* en una población de la selva decidua de Jalisco, México. *Boletín de la sociedad herpetológica mexicana* **12**:59.
- Balderas-Valdivia, C. J. 2005. Respuesta congénita y variación del comportamiento aversivo en *Heloderma horridum*. *Boletín de la sociedad herpetológica mexicana* **13**:1-9.
- Balderas-Valdivia, C. J., and A. Ramirez-Bautista. 2005. Aversive behavior of beaded lizard, *Heloderma horridum*, to sympatric and allopatric predator snakes. *The southwestern naturalist* **50**:24-31.
- Beck, D. D. 2002. *Heloderma horridum* (Weigmann 1829). Escorpión. *in* F. A. Noguera, J. H. Vega, A. N. García, and M. Quesada, editors. *Historia natural de Chamela*. Instituto de biología, México D. F.
- Beck, D. D. 2005. *Biology of gila monsters and beaded lizards*. University of California press, California.
- Beck, D. D., M. R. Dohm, T. Garland, A. Ramirez-Bautista, and C. H. Lowe. 1995. Locomotor performance and activity energetics of helodermatid lizards. *Copeia* **1995**:577-585.
- Beck, D. D., and R. Jennings. 2003. Habitat use by gila monsters: the importance of shelters. *Herpetological monographs* **17**:111-129.

- Beck, D. D., and C. H. Lowe. 1991. Ecology of the beaded lizard, *Heloderma horridum*, in a tropical dry forest in Jalisco, México. *Journal of herpetology* **25**:395-406.
- Beck, D. D., and C. H. Lowe. 1994. Resting metabolism of helodermatid lizards: allometric and ecological relationships. *Journal of comparative physiology B* **164**:124-129.
- Beck, D. D., and A. Ramirez-Bautista. 1991. Combat behavior of the beaded lizard *Heloderma h. horridum*, in Jalisco, México. *Journal of herpetology* **25**:481-484.
- Blomberg, S. P., and R. Shine. 2001. Modelling life history strategies with capture-recapture data: evolutionary demography of the water skink *Eulamprus tympanum*. *Austral ecology* **26**:349-359.
- Bogert, C. M., and R. Martín del Campo. 1956. The gila monster and its allies. *Bulletin of the American museum of natural history* **109**:1-238.
- Brown, D. E., and N. B. Carmony. 1999. Gila monster: Facts and folklore of america's aztec lizard. University of Utah press, Salt lake city.
- Carpenter, G., A. N. Gillison, and J. Winter. 1993. DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity and conservation* **2**:667-680.
- Casas-Andreu, G. 2000. Mitos, leyendas y realidades de los reptiles en México. *Ciencia ergo sum* **7**:286-291.
- Castro, R., and M. G. Bustos. 2003. Lagartijas de Morelos, México: distribución, habitat y conservación. *Acta zoologica mexicana*:123-142.
- Ceballos, G. 1995. Vertebrate diversity, ecology and conservation in neotropical dry forest. *in* S. H. Bullock, H. A. Mooney, and E. Medina, editors. *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge university press, Cambridge.

- CITES. 2007. Apéndices I, II y III. Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres.
- Conabio. 2007. Estrategias estatales para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad. Comisión nacional para el conocimiento uso de la biodiversidad, México.
- Conservancy, P.-T. N. 2007. Biodiversidad del centro y occidente de México Planeación ecorregional: Avances y próximos pasos. USAID, México D.F.
- Cooper, W. E., and J. Arnett. 1995. Strike-induced chemosensory searching in the gila monster. *Copeia* **1995**:89-96.
- Costa, G. C., C. Wolfe, D. B. Sheppard, J. P. Caldwell, and L. J. Vitt. 2008. Detecting the influence of climatic variables on species distributions: a test using GIS niche-based models along a steep longitudinal environmental gradient. *Journal of biogeography* **35**:637-646.
- Challenger, A. 1998. La zona ecológica tropical subhúmeda (selva subhúmeda). Pages 375-443 Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México, pasado, presente y futuro. Conabio-instituto de biología-sierra madre, México.
- Chefaoui, R. M., J. Hortal, and J. M. Lobo. 2005. Potential distribution modelling, niche characterization and conservation status assessment using GIS tools: a case study of iberian *Copris* species. *Biological conservation* **122**:327-338.
- Dougherty, M., C. Kraucunas, and J. Verwest. 2001. Remote sensing techniques using arc view 3.2 and ERDAS imahine 8.4.
- Elith, J., C. H. Graham, R. P. Anderson, M. Dudík, S. Ferrier, A. Guisan, R. J. Hijmans, F. Huettmann, J. R. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L. G. Lohmann, B. A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J. M. Overton, A. T. Peterson, S. J. Phillips, K. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R. E.

- Schapire, J. Soberón, S. Williams, M. S. Wisz, and N. E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* **29**:129-151.
- Engler, R., A. Guisan, and L. Rechsteiner. 2004. An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *Journal of applied ecology* **41**:263-274.
 - Espinosa-Avilés, D., V. M. Salomón-Soto, and S. Morales-Martínez. 2008. Hematology, blood chemistry, and bacteriology of the free-ranging mexican beaded lizard (*Heloderma horridum*). *Journal of zoo and wildlife medicine* **39**:21-27.
 - García-Barros, E., P. Gurrea, M. J. Luciáñez, J. M. Cano, M. L. Munguira, J. C. Moreno, H. Sainz, M. J. Sanz, and J. C. Simón. 2002. Parsimony analysis of endemism and its application to animal and plant geographical distributions in the Ibero-Balearic region (western Mediterranean). *Journal of biogeography* **29**:109-124.
 - García-Vazquez, U., L. Canseco-Márquez, J. L. Aguilar-López, C. A. Hernández-Jiménez, J. Maceda-Cruz, M. G. Gutiérrez-Mayen, and E. Y. Melgarejo-Velez. 2006. Análisis de la distribución de la herpetofauna en la región mixteca de Puebla, México. *in* A. Ramirez-Bautista, L. Canseco-Márquez, and F. Mendoza-Quijano, editors. *Inventarios herpetofaunísticos de México: Avances en el conocimiento de su biodiversidad*.
 - García, A. 2006. Using ecological niche modelling to identify diversity hotspots for the herpetofauna of pacific lowlands and adjacent interior valleys of Mexico. *Biological conservation* **130**:25-46.
 - Garshelis, D. L. 2000. Delusions in habitat evaluation. Measuring use, selection and importance. Pages 111-164 *in* L. Boitani and T. K. Fuller, editors. *Research*

techniques in animal ecology: controversies and consequences. Columbia university press, New York.

- Gbif. 2009. Global biodiversity information facility.
- Gibson, L., B. Barrett, and A. Burbidge. 2007. Dealing with uncertain absences in habitat modelling: a case study of rare ground-dwelling parrot. *Diversity and distributions* **13**:704-713.
- Gienger, C. M. 2003. Natural history of the gila monster in Nevada. University of Nevada Reno.
- Gienger, C. M., G. W. Johnson, M. McMillan, S. Sheldon, and R. C. Tracy. 2005. Timing of hatching in beaded lizards (*Heloderma horridum*). *Sonoran herpetologist* **18**:93-94.
- Golberg, S. R., and C. H. Lowe. 1997. Reproductive cycle of the gila monster *Heloderma suspectum* in southern Arizona. *Journal of herpetology* **31**:161-166.
- González, A. J., and J. M. Garza. 2006. Herpetofauna del municipio de nuevo Trecho, Michoacán, México. *in* A. Ramirez-Bautista, L. Canseco-Márquez, and F. Mendoza-Quijano, editors. *Inventarios herpetofaunísticos de México: Avances en el conocimiento de su biodiversidad*.
- Googleinc. 2009. Google earth.
- Guisan, A., and W. Thuiller. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology letters* **8**:993-1009.
- Guisan, A., and N. E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling* **135**:147-186.
- Hernandez, P. A., C. H. Graham, L. L. Master, and D. L. Albert. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* **29**:773-785.
- Herpnet. 2009. Herpnet.
- Hijmans, R. J., S. Cameron, and J. Parra. worldclim. Berkeley, California.

- Hirzel, A. H., and R. Arlettaz. 2003. Modeling habitat suitability for complex species distributions by environmental-distance geometric mean. *Environmental management* **32**:614-623.
- Hirzel, A. H., and G. Le Lay. 2008. Habitat suitability modelling and niche theory. *Journal of applied ecology* **45**:1372-1381.
- IUCN. 2006. Cocodrilos. Crocodile specialist group newsletter **25**:1-24.
- Janzen, D. H. 1988. Tropical dry forests: the most endangered major tropical ecosystem. *in* E. O. Wilson, editor. *Biodiversity*. National academy press, Washington, DC.
- Jiménez-Valverde, A., and J. M. Lobo. 2007. Threshold criteria for conversion of probability of species presence to either-or presence-absence. *Acta oecologica* **31**:361-369.
- Kearney, M., and P. W. P. 2004. Mapping the fundamental niche: physiology, climate, and the distribution of a nocturnal lizard. *Ecology* **85**:3119-3131.
- Krebs, C. J. 1999. *Ecological methodology*. segunda edición. Benjamin/Cummings, Menlo park, California.
- Kwiatkowski, M. A., G. W. Schuett, R. A. Repp, N. E. M., and S. B. K. 2008. Does urbanization influence the spatial ecology of Gila monsters in the Sonoran desert? *Journal of zoology* **276**:350-357.
- Lemos-Espinal, J. A. 2007. *Anfibios y reptiles del estado de Chihuahua México*. CONABIO, México.
- Lindsey, J. K. 1997. *Applying generalized linear models*. Springer.
- Lovich, J. E., and K. R. Beaman. 2007. A history of gila monster (*Heloderma suspectum cinctum*) records from California with comments of factors affecting their distribution. *Bulletin of southern California academy of science* **106**:39-58.

- Lugo, A. E. 1988. Estimating reductions in the diversity of tropical forest species. *in* E. O. Wilson, editor. Biodiversity. National academy press, Washington, DC.
- Luiselli, L. 2007. Community ecology of african reptiles: historical perspective and a meta-analysis using null models. *African journal of ecology*:1-11.
- Luiselli, L. 2008. Do lizard communities partition the trophic niche? a worldwide meta-analysis using null models. *Oikos* **117**:321-330.
- Mackey, B. G., and D. B. Lindenmayer. 2001. Towards a hierarchical framework for modelling the spatial distribution of animals. *Journal of biogeography* **28**:1147-1166.
- Marmion, M., J. Hjort, W. Thuiller, and M. Luoto. 2008. Statistical consensus methods for improving predictive geomorphology maps. *Computers & geosciences*.
- Marmion, M., M. Parviainen, M. Luoto, R. K. Heikkinen, and W. Thuiller. 2009. Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Diversity and distributions* **15**:59-69.
- Martínez-Meyer, E., A. T. Peterson, and W. W. Hargrove. 2004. Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity. *Global ecology and biogeography* **13**:305-314.
- McPherson, J. M., and W. Jetz. 2007. Effects of species' ecology on the accuracy of distribution models. *Ecography* **30**:135-151.
- Monroy-Vilchis, O., M. A. Balderas, R. Rubio-Rodríguez, J. C. Castro, C. Rodríguez-Soto, M. Zarco-González, L. Soria-Díaz, O. De Luna, and U. Aguilera. En revisión. Programa de conservación y manejo del parque natural sierra Nanchititla Toluca, estado de México.

- Monroy-Vilchis, O., O. Hernández-Gallegos, and F. Rodríguez-Romero. 2005. *Heloderma horridum horridum* (mexican beaded lizard). Unusual habitat. *Herpetological review* **36**:450.
- Monroy-Vilchis, O., C. Soto-Rodríguez, M. Zarco-Gonzales, and V. Urios. 2009. Cougar and jaguar habitat use and activity patterns in central México. *Animal biology* **59**:145-157.
- Muñoz-Martínez, R., and M. A. Rojas-Pérez. 2009. Registro nuevo del escorpión mexicano *Heloderma horridum* (Reptilia: Helodermatidae) en Durango, México. *Revista mexicana de biodiversidad*:871-873.
- Murphy, P. G., and A. E. Lugo. 1995. Dry forest of central America and the caribbean. *in* S. H. Bullock, H. A. Mooney, and E. Medina, editors. *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge university, Cambridge.
- Myers, N. 1988. Tropical forests and their species. Going, going...? *in* E. O. Wilson, editor. *Biodiversity*. National academy press, Washington, DC.
- Neu, C., C. Byers, and J. Peek. 1974. A technique for analysis of utilization-availability data. *Journal of wildlife management* **38**:431-438.
- Papes, M., and P. Gaubert. 2007. Modeling 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., C. J. Raxworthy, M. Nakamura, and A. T. Peterson. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of biogeography*:102-117.
- Peterson, A. T. 2001. Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. *The cooper ornithological society* **103**:599-605.

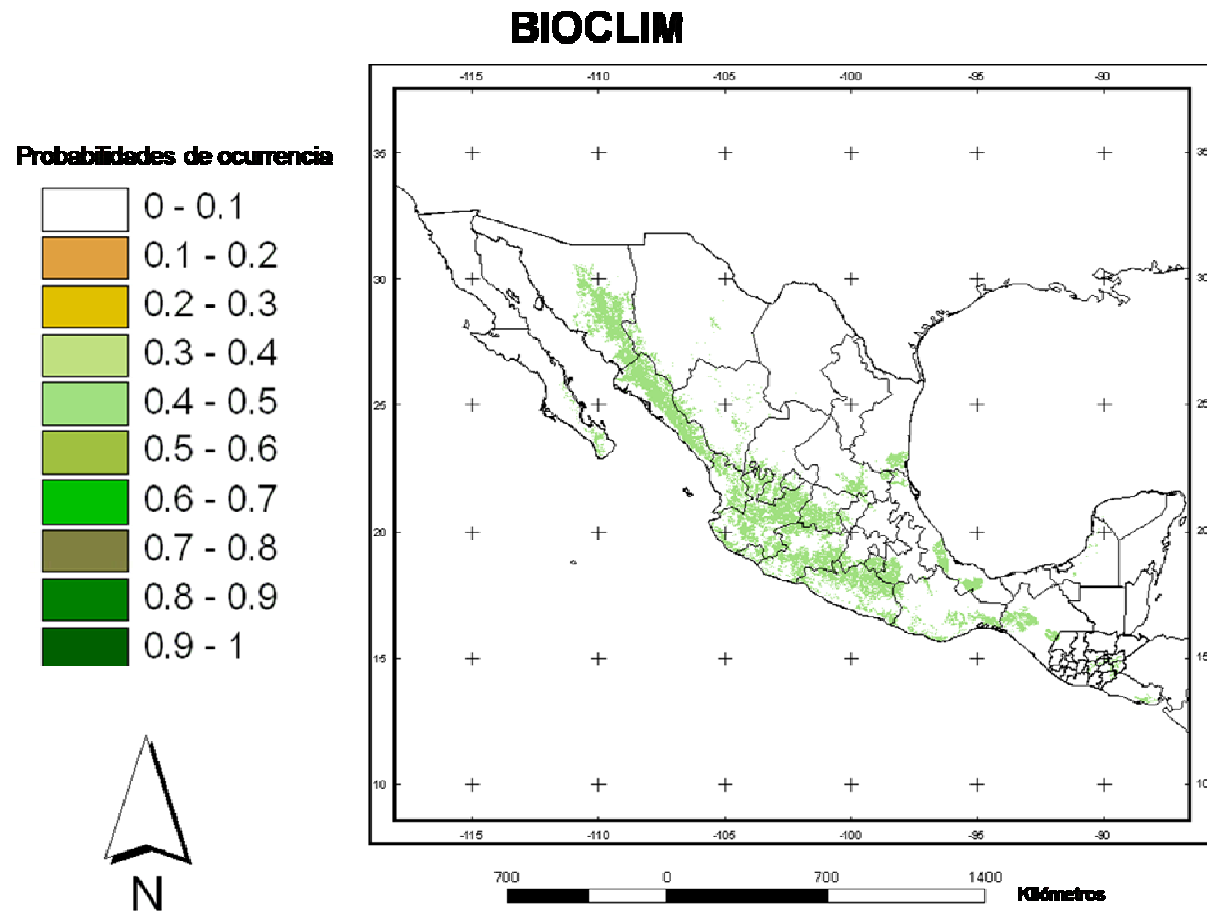
- Peterson, A. T., L. G. Ball, and K. P. Cohoon. 2002. Predicting distributions of mexican birds using ecological niche modelling methods. *Ibis* **144**:27-32.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson, and R. E. Schapire. 2005. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling* **190**:231-259.
- Pregill, G. K., J. A. Gauthier, and H. W. Green. 1986. The evolution of helodermatid squamates, with description of a new taxon and a overview of varanoidea. *Transactions of the San Diego society of natural history* **21**:167-202.
- Pulliam, H. R. 2000. On the relationship between niche and distribution. *Ecology letters* **3**:349-361.
- Ray, N., A. Lehmann, and P. Joly. 2002. Modeling spatial distribution of amphibian populations: a GIS approach based on habitat matrix permeability. *Biodiversity and conservation* **11**:2143-2165.
- Richards, C. L., B. C. Carstens, and L. L. Knowles. 2007. Distribution modelling and statistical phylogeography: an integrative framework for generating and testing alternative biogeographical hypotheses. *Journal of biogeography* **34**:1833-1845.
- Riitters, K. H., O. N. R. V, C. T. Hunsaker, J. D. Wickham, D. H. Yankee, S. P. Timmins, K. B. Jones, and B. L. Jackson. 1995. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape ecology* **10**:23-39.
- Román, J., G. Ruiz, M. Delibes, and E. Revilla. 2006. Factores ambientales condicionantes de la presencia de la lagartija de Carbonell *Podarcis carbonelli* (Pérez-Mellado, 1981) en la comarca de Doñana. *Animal biodiversity and conservation* **29**:73-82.
- Rushton, S. P., S. J. Ormerod, and G. Kerby. 2004. New paradigms for modelling species distributions? *Journal of applied ecology* **41**:193-200.

- Rzedowski, J. 1986. Vegetación de México. Limusa, México.
- Saldaña, L., and E. Pérez. 1987. Herpetofauna del estado de Guerrero, México. Universidad Autónoma Nacional de México, México.
- Segurado, P., and M. B. Araújo. 2004. An evaluation of methods for modelling species distributions. *Journal of biogeography* **31**:1555-1568.
- SEMARNAT. 2008. Norma oficial mexicana NOM-059-ECOL-2001, 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. *Diario oficial*:1-85.
- Stockwell, D., and D. Peters. 1998. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International journal of geographical information science* **13**:143-158.
- Stockwell, D., and A. T. Peterson. 2002. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological modelling* **148**:1-13.
- Sutton, T. 2009. Openmodeller 1.0.8.
- Thorn, J. S., V. Nijman, D. Smith, and K. A. I. Nekaris. 2009. Ecological niche modelling as a technique for assessing threats and setting conservation priorities for asian slow lorises (Primates: *Nycticebus*). *Diversity and distributions* **15**:289-298.
- Trejo, I. 2005. Análisis de la diversidad de la selva baja en México. Pages 111-122 in G. Halffter, J. Soberón, P. Koleff, and A. Melic, editors. *Sobre diversidad biológica: El significado de las diversidades alfa, beta y gamma*. SEA-CONABIO-Grupo DIVERSITAS-CONACYT, Zaragoza.
- U. S. Geological survey center for earth resources observation and science. HYDRO 1k elevationderivative database. LP DAAC, Sioux falls, south Dakota.

- UICN. 2001. Categorías y criterios de la lista roja de la UICN: versión 3.1. Comisión de supervivencia de especies de la UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido.
- University of Maryland. 1997-2010. Global land cover facility.
- Valdez, R., J. C. Guzman-Aranda, F. J. Abarca, L. A. Tarango-Arámula, and F. C. Sánchez. 2006. Wildlife conservation and management in Mexico. *Wildlife society bulletin* **34**:270-282.
- Van Denburgh, J. 1898. Some experiments with the saliva of the gila monster (*Heloderma suspectum*). *Transactions of the american philosophical society* **19**:199-220.
- Wiegmann, A. F. A. 1829. Ueber das Acaltetepon order Temacuilcahuya des Hernández, eine neue Gattung der saurer, Heloderma. *Isis von Oken, Leipzig* **22**:624-629.
- Zaniwski, A. E., A. Lehmann, and J. McC. Overton. 2002. Predicting species spatial distributions using presence-only data: a case study of native new Zealand ferns. *Ecological modelling* **157**:261-280.
- Zarafonetis, C. J. D., and J. P. Kalas. 1960. Some hematologic and biochemical findings in *Heloderma horridum*, the mexican beaded lizard. *Copeia* **1960**:240-241.
- Zootropic. 2006. National conservation strategy for the guatemalan beaded lizard.
- Zug, G. R., J. L. J. Vitt, and J. P. Caldwell. 2001. *Herpetology, an introductory biology of amphibians and reptiles*. 2 edition. Academic press, San Diego, California.

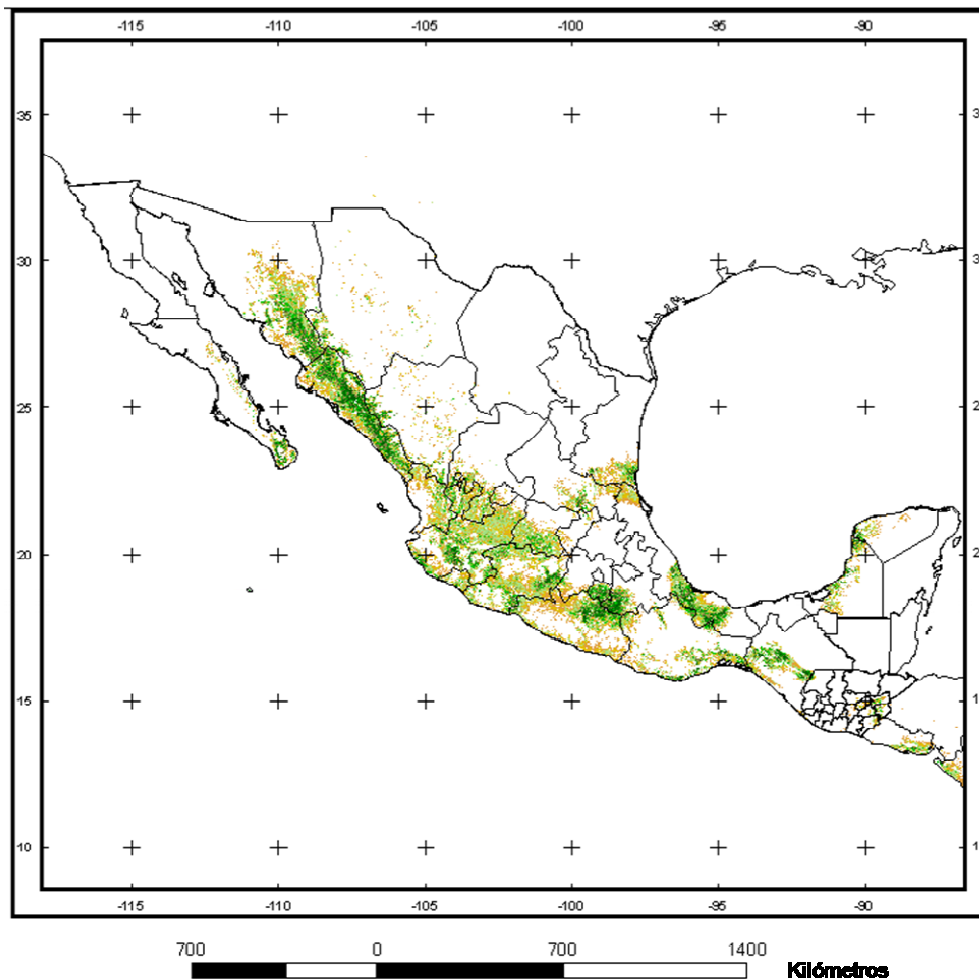
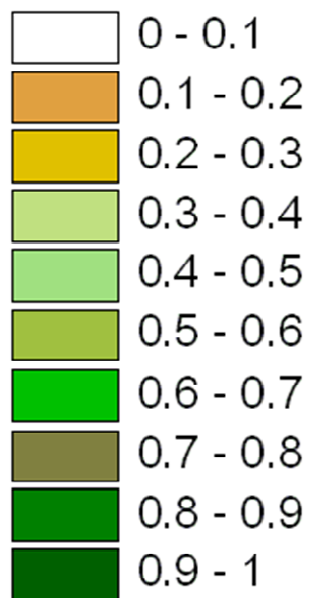
Anexos

Anexo1. Mapas de distribución potencial de *H. horridum* generados con los nueve modelos aplicados para este estudio.



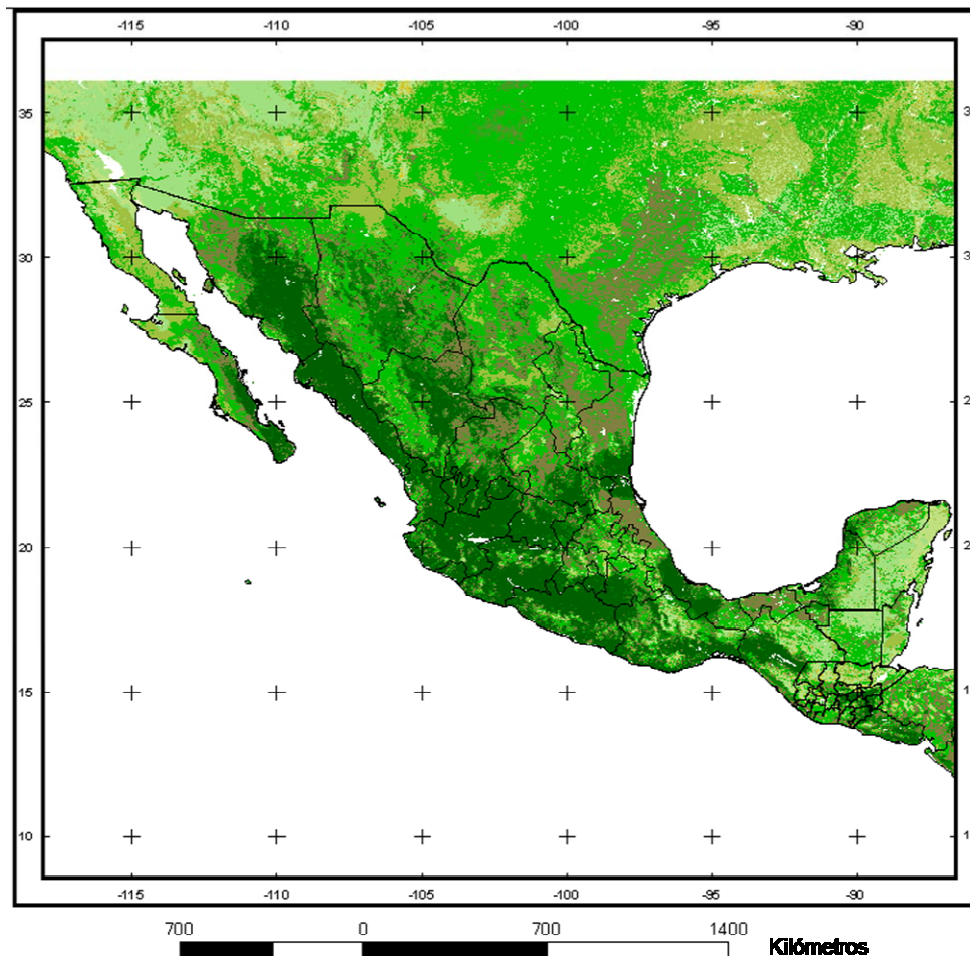
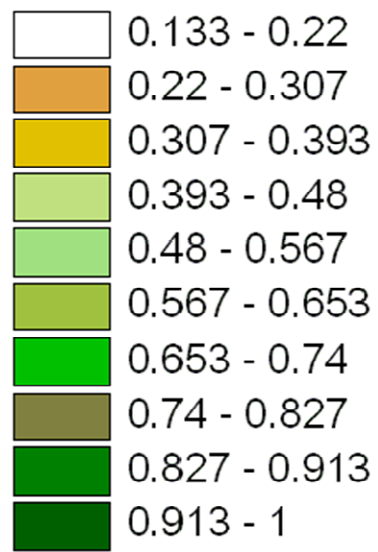
CLIMATESPACE MODEL

Probabilidades de ocurrencia



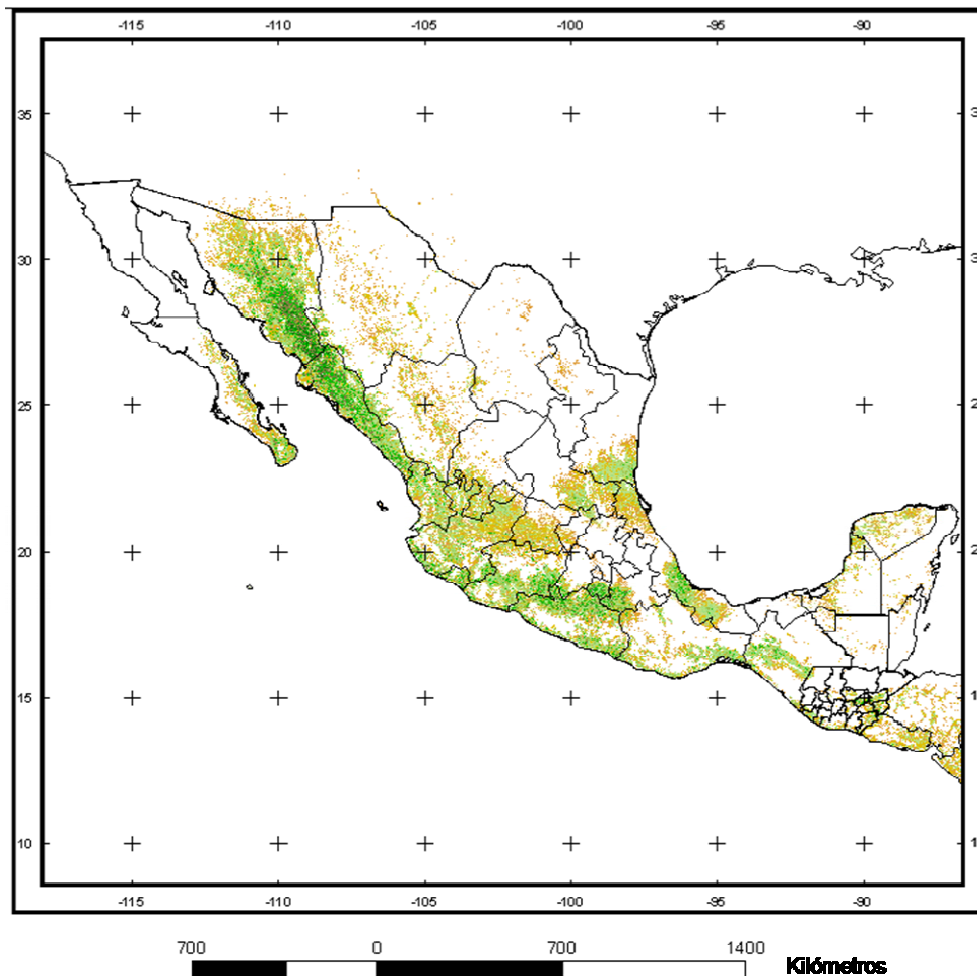
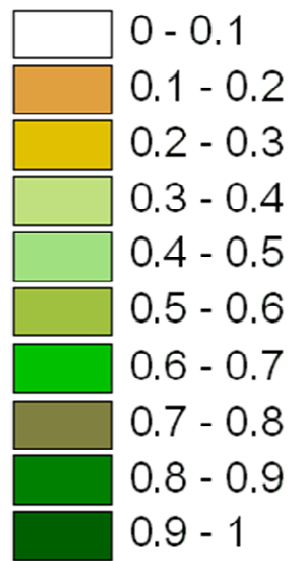
ENVELOPE SCORES

Probabilidades de ocurrencia



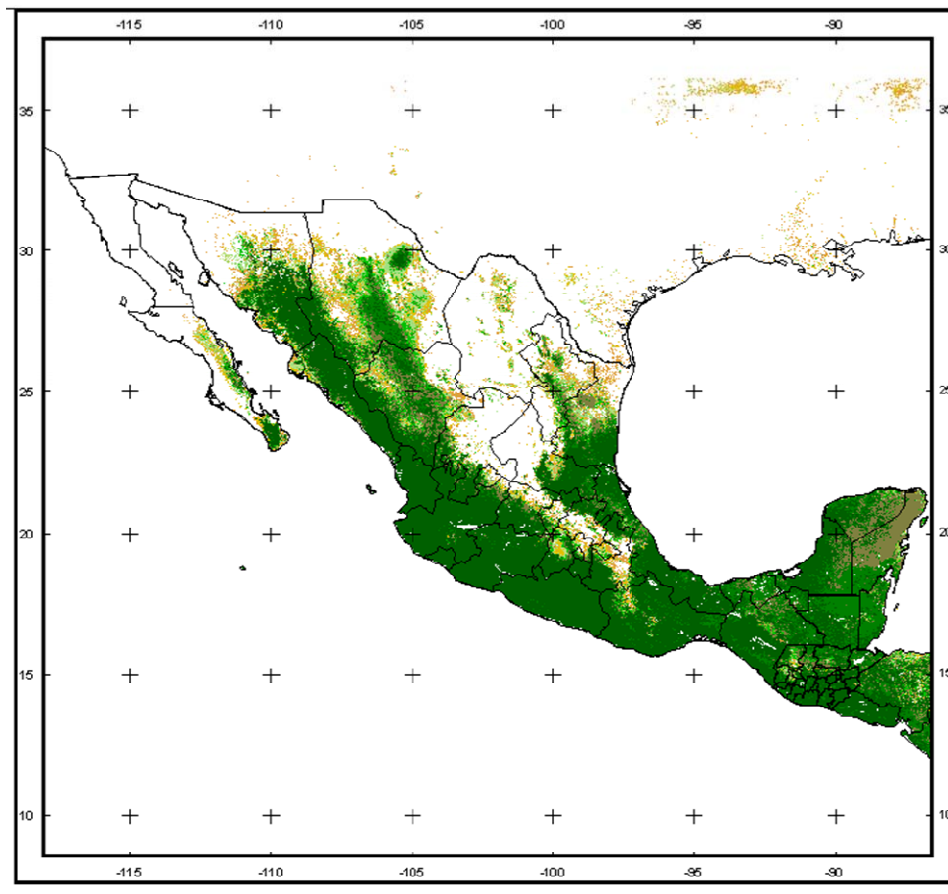
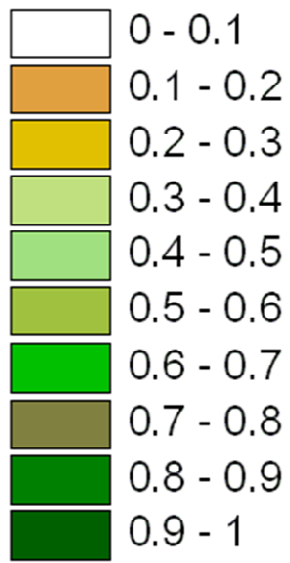
ENVIROMENTAL DISTANCE

Probabilidades de ocurrencia

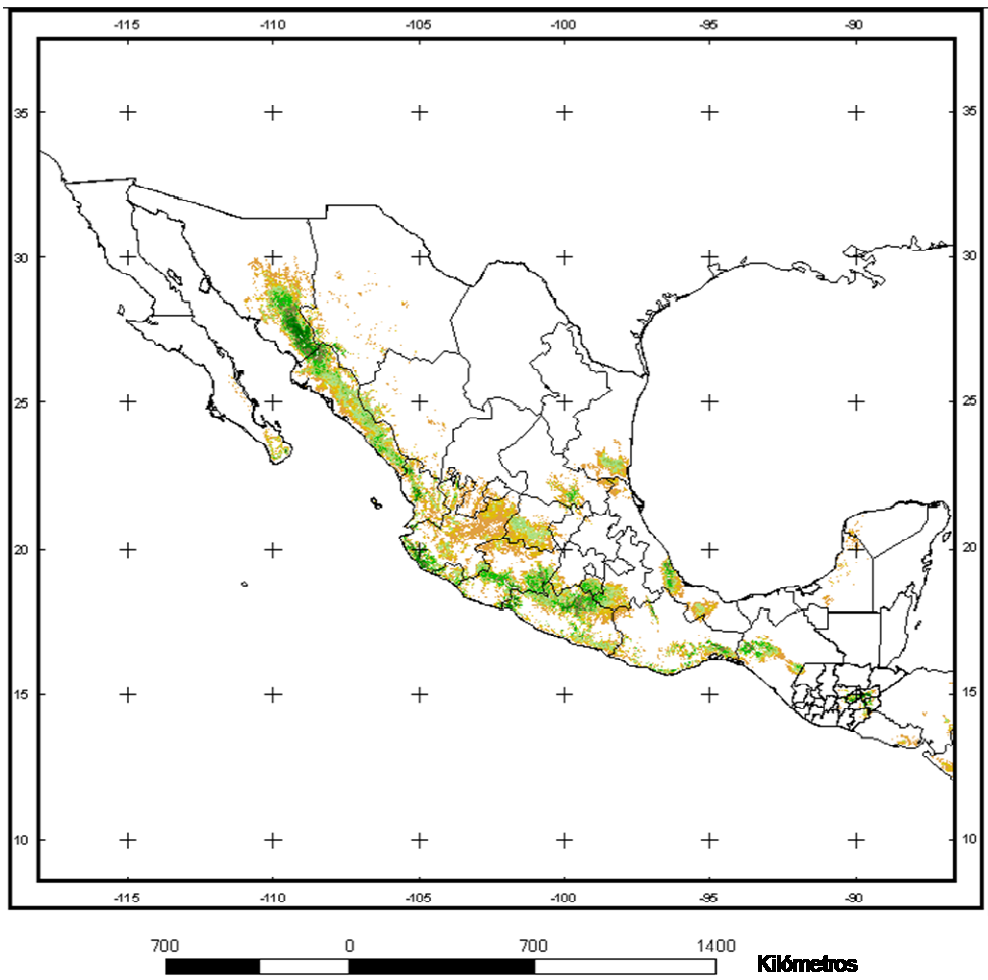
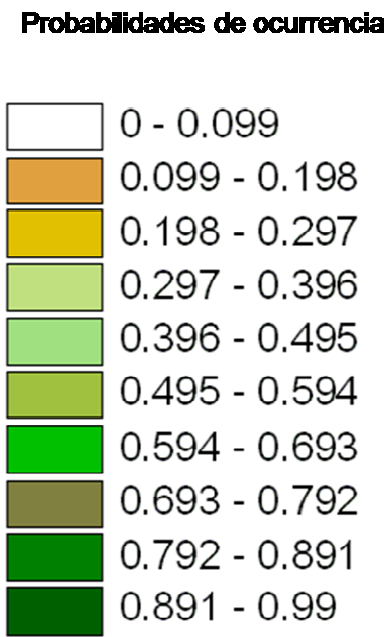


GARP

Probabilidades de ocurrencia

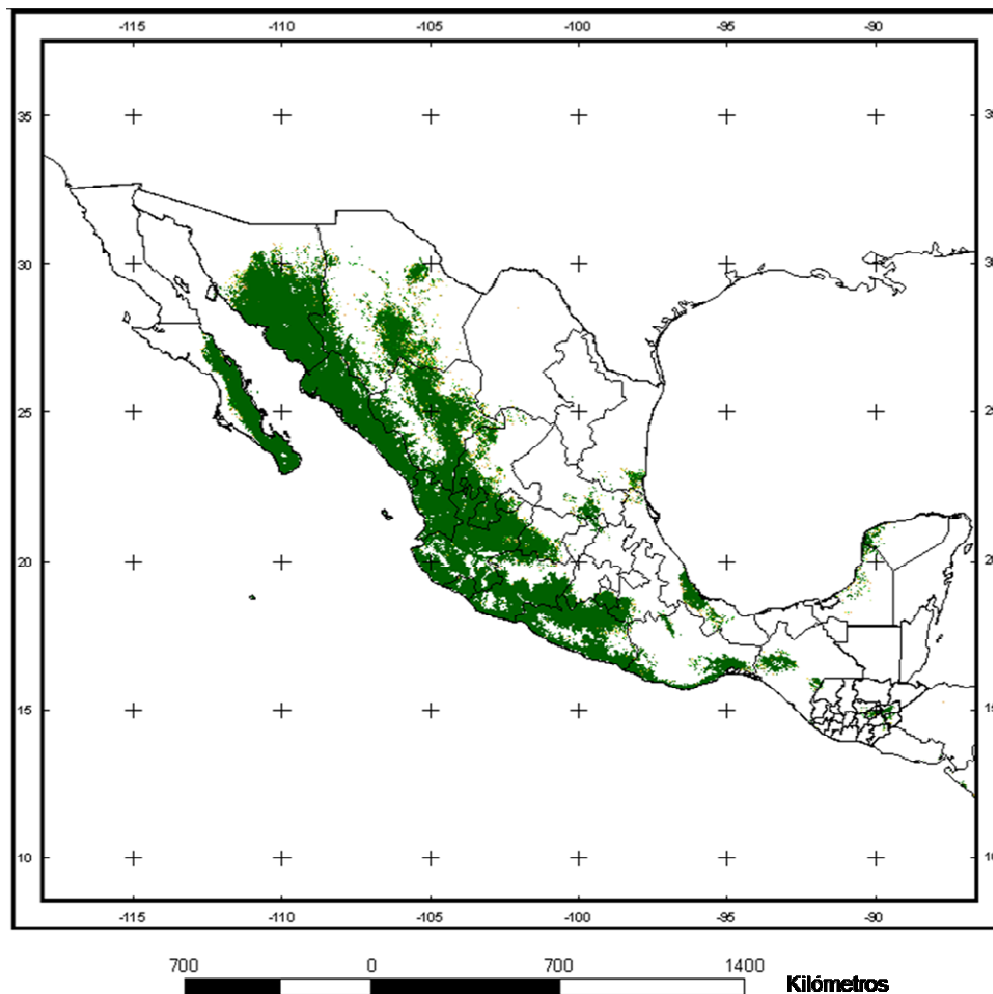
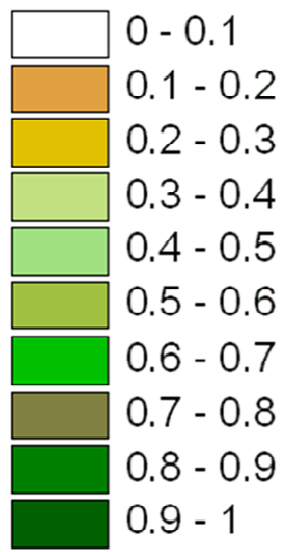


MAXENT

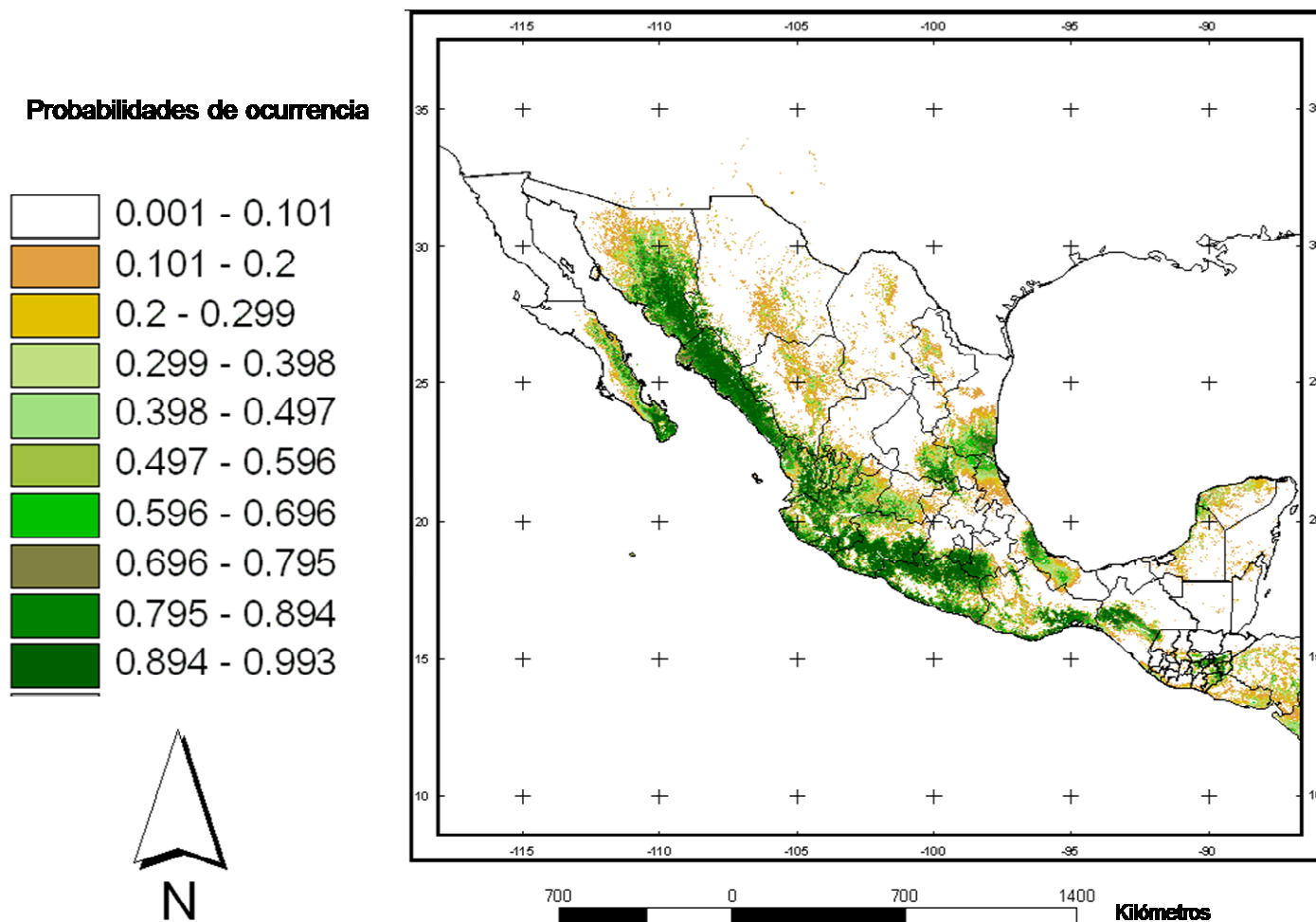


REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Probabilidades de ocurrencia

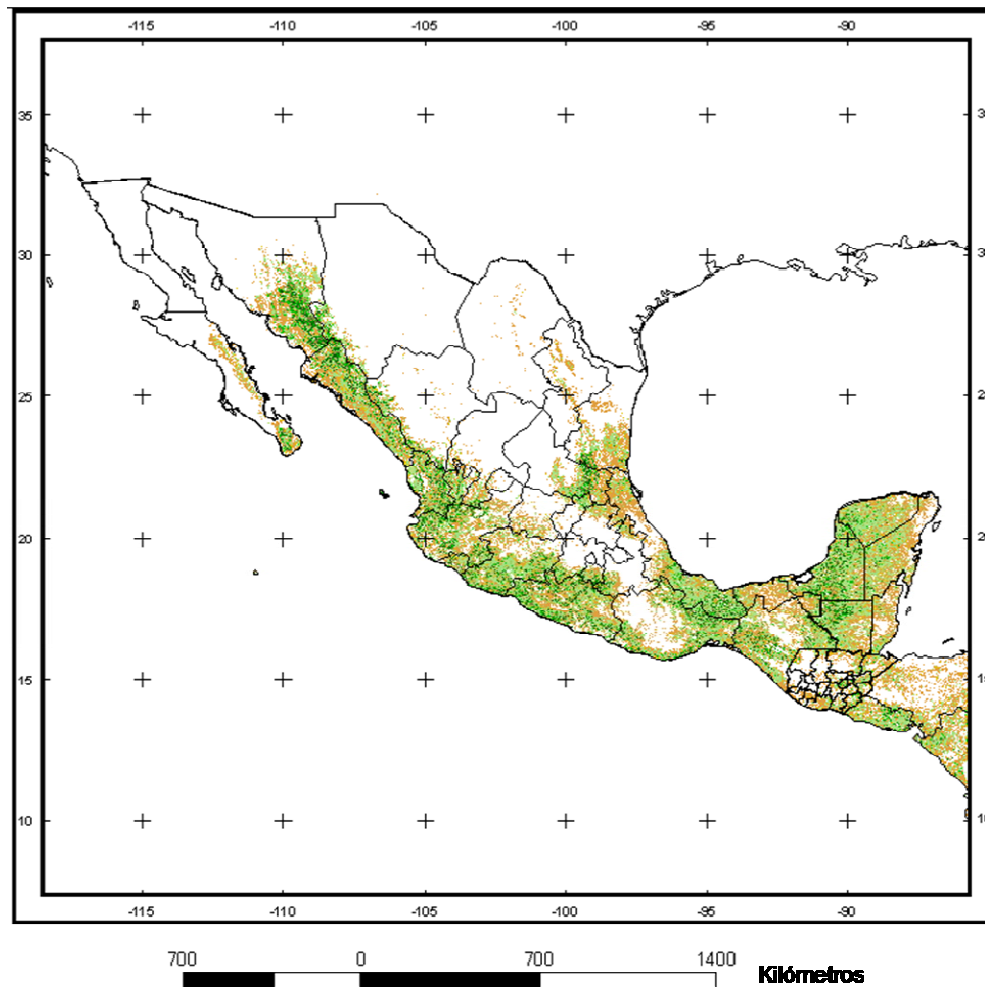
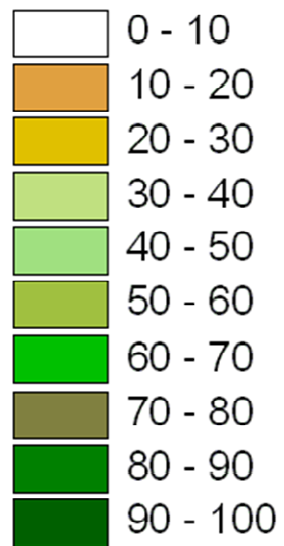


SUPPORT VECTOR MACHINES



ENFA

Probabilidades de ocurrencia



Anexo 2. Áreas naturales protegidas y regiones terrestres prioritarias que protegen la distribución potencial de *H. horridum*.

Reserva	Nombre	Categoría	País
1	Sierra de Alamos-río cuchujaqui	ANP	México
2	Meseta de Cacaxtla	ANP	México
3	La primavera	ANP	México
4	Sierra de Quila	ANP	México
5	Sierra de Manatlan	ANP	México
6	Chamela-Cuixmala	ANP	México
7	José María Morelos	ANP	México
8	Grutas de Cacahuamilpa	ANP	México
9	Sierra de Huautla	ANP	México
10	Tehuacán-Cuicatlán	ANP	México
11	Lagunas de Chacahua	ANP	México
12	Huatulco	ANP	México
13	El ocote	ANP	México
14	Cañón del sumidero	ANP	México
15	La sepultura	ANP	México
16	Cañada de mazocahui	RTP	México
17	Bavispe-el tigre	RTP	México
18	Sahuaripa	RTP	México
19	El maviro-santo niño	RTP	México
20	Sierra Mazatlán	RTP	México
21	Sierra libre	RTP	México
22	Sierra el Bacatete	RTP	México
23	San Javier-tepoca	RTP	México
24	Yécora-el reparo	RTP	México
25	Cañon de Chínipas	RTP	México
26	Sierra Álamos-el Cuchujaqui	RTP	México
27	Las bocas	RTP	México
28	San José	RTP	México
29	Marismas topolobampo-caimanero	RTP	México
30	Río humaya	RTP	México
31	San Juan de camarones	RTP	México
32	Río presidio	RTP	México
33	Pueblo nuevo	RTP	México
34	Guacamayita	RTP	México
35	Cuenca del río Jesús María	RTP	México
36	Marismas nacionales	RTP	México
37	Sierra los huicholes	RTP	México
38	Sierra Vallejo-río Ameca	RTP	México
39	Chamela-Cabo corrientes	RTP	México
40	Manatlán-volcán de colima	RTP	México
41	Cerro viejo-sierras de Chapala	RTP	México
42	Sierra de Coalcomán	RTP	México
43	Infiernillo	RTP	México
44	Sierra Nanchititla	RTP	México
45	Sierras de Taxco-Huautla	RTP	México
46	Cañon del Zopilote	RTP	México
47	Ajusco-Chichinautzin	RTP	México
48	Valle de Tehuacán-Cuicatlán	RTP	México
49	Sierras del norte de Oaxaca-Mixe	RTP	México
50	Sierras Triqui-Mixteca	RTP	México
51	Bajo río verde-Chacahua	RTP	México
52	Sierra sur y costa de Oaxaca	RTP	México
53	El tlacuache	RTP	México
54	Selva zoque-la sepultura	RTP	México
55	La chacona-cañón del sumidero	RTP	México

56	Los cerritos-el postezuelo	ANP	Guatemala
57	Finca Fernando Paiz	ANP	Guatemala
58	Hacienda los José Luises	ANP	Guatemala
59	Cerro de Jesús	ANP	Guatemala
60	Lo de China	ANP	Guatemala
61	Niño dormido	ANP	Guatemala
62	Las flores	ANP	Guatemala
63	Cerro miramundo	ANP	Guatemala
64	Volcán Tahual	ANP	Guatemala
65	Volcán y laguna de Ipala	ANP	Guatemala
66	Volcán Ixtepeque	ANP	Guatemala
67	Trifinio	ANP	Guatemala
68	Volcán Culma	ANP	Guatemala
69	Volcán las víboras	ANP	Guatemala
70	San José tierra linda	ANP	Guatemala
71	Sierra las minas	ANP	Guatemala
