

## Distribución potencial del jaguar *Panthera onca* (Carnivora: Felidae) en Guerrero, México: persistencia de zonas para su conservación

Angela P. Cuervo-Robayo<sup>1</sup> & Octavio Monroy-Vilchis\*<sup>1</sup>

1. Estación Biológica Sierra Nanchititla, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario 100, Centro, 50000, Toluca, México; omv@uaemex.mx, tavomonroyvilchis@gmail.com

\* Correspondencia

Recibido 01-VI-2011. Corregido 14-XII-2011. Aceptado 30-I-2012.

**Abstract: Potential distribution of jaguar, *Panthera onca* (Carnivora: Felidae) in Guerrero, Mexico: persistence of areas for its conservation.** Studies about the permanence of natural protected areas are important, because they contribute to the promotion of the conservation target and to optimize economical and human resources of specific areas. Although there are no natural protected areas in Guerrero, it has suitable habitat for the jaguar, a common species used for planning and management of conservation areas. Since, there is actual evidence that environmental and anthropogenic variables may modify vertebrate species distribution with time, in this study we predicted the potential distribution of *Panthera onca* using MaxEnt for this Southeastern region. In addition, we made a projection considering the effect of a moderate climate change scenario, to evaluate the stability of the conservation area for a period of 24 years. Furthermore, we applied three threat scenarios for the actual prediction to define conservation priorities areas. In our results, we have found that 18 361 Km<sup>2</sup> (29%) of this state has a permanent suitable habitat for jaguar conservation in the Sierra Madre del Sur and Pacific coast, with a possible loss of 2 000 km<sup>2</sup> in 24 years. This habitat is characterized by a 56% of temperate forest (mainly conifers and hardwoods 34%), and 35% of tropical deciduous forest. With the projections, the Southeastern region resulted with the higher anthropogenic impacts, while at the same time, an area of 7 900 km<sup>2</sup> in the Central-Western state was determined as a priority for conservation. To assure jaguar conservation, we propose the inclusion of this new conservation area, which is located in the Sierra Madre del Sur, with which we may potentially preserve other 250 species of threatened vertebrates. This way, the suggested habitat conservation may represent a local effort in Guerrero and will strengthen the biological corridor network for *P. onca* protection in Latin America. Rev. Biol. Trop. 60 (3): 1357-1367. Epub 2012 September 01.

**Key words:** Guerrero, MaxEnt, natural protected areas, *Panthera onca*.

Los estudios enfocados en la persistencia de las áreas naturales protegidas son importantes debido a que ofrecen escenarios geográficos con mayor certidumbre de cumplir con el objetivo de la conservación biológica a largo plazo y con la optimización de recursos humanos y económicos. Actualmente, existen pocos estudios enfocados a la persistencia temporal de las áreas naturales protegidas, se ha estimado que entre 6-11% de las especies de plantas de Europa se perderán de las reservas naturales en los próximos 50 años (Araújo *et al.* 2004). Es necesario identificar y proponer zonas de

conservación persistentes espacial y temporalmente, ya que parámetros ambientales como temperatura, precipitación así como coberturas vegetales y actividades antrópogénicas están cambiando y esto modifica la distribución de algunas especies (Margules & Presee 2000, Araújo *et al.* 2004, Araújo *et al.* 2011).

En el caso del jaguar (*Panthera onca*) se tiene documentado el efecto en su distribución de algunas actividades antrópicas como la fragmentación, carreteras y poblados principalmente (Zarza *et al.* 2007, Conde *et al.* 2010, Colchero *et al.* 2011). Debido a sus

características ecológicas es una especie utilizada en la planeación y manejo de áreas naturales protegidas (Miller & Rabinowitz 2002). Esta especie se encuentra amenazada principalmente por la pérdida y/o fragmentación del hábitat que junto con su cacería y la de sus presas, ha generado una disminución drástica en su distribución y poblaciones (Sanderson *et al.* 2002, Rabinowitz & Zeller 2010, Rodríguez-Soto *et al.* 2011), de tal manera que, en México, se encuentra en peligro de extinción (SEMARNAT 2010), a nivel mundial está casi amenazada (UICN 2009) y su comercialización está prohibida por CITES (UNEP-WCMC 2005). Aunado a esto, la FAO (2001), informó en México tasas de deforestación de 631 000ha/año entre 1990-2000, esto ha contribuido a la disminución del hábitat del jaguar ya que se estima que para México sólo el 16% del territorio es hábitat potencial para esta especie (Rodríguez-Soto *et al.* 2011).

En varias regiones de México se han aportado nuevos datos ecológicos sobre *P. onca* (Grigione *et al.* 2009, Monroy-Vilchis *et al.* 2009, Rosas-Rosas *et al.* 2010), así como estudios sobre su distribución espacial y su relación con coberturas vegetales (Aranda 1996, López-González & Brown 2002, Rosas-Rosas & López-Soto 2002, Grigione *et al.* 2009), estos son limitados, ya que no consideran otras variables ambientales que pueden modificar la distribución de la especie. Actualmente, se han desarrollado diferentes métodos que incluyen diversos tipos de variables (ambientales, biológicas y antrópogénicas), que permiten conocer con mayor precisión los factores que limitan la distribución de las especies. Estos métodos, a través del análisis espacial han contribuido para establecer planes de conservación a diferentes escalas (Peterson & Vieglais 2001, Araújo *et al.* 2002, Ferrier 2002, Anderson & Martínez-Meyer 2004, Graham *et al.* 2006, Araújo *et al.* 2008, Thorn *et al.* 2009). Recientemente, en México se han propuesto diversas zonas para la conservación del jaguar a través de metodologías robustas de modelación (Rodríguez-Soto *et al.* 2011). Esta propuesta considera al estado de Guerrero importante para

identificar zonas específicas para el estudio y conservación del jaguar. Al ser Guerrero, uno de los estados mexicanos con menor número de áreas naturales protegidas (Bezaury-Creel & Gutiérrez 2009), este estudio aportará información para planear la conservación espacial a nivel regional, considerando diversas variables ambientales e incluyendo algunas actividades antropogénicas así como la persistencia de estas áreas al año 2024.

Existen varios métodos para modelar la distribución potencial de las especies (Guisan & Zimmermann 2000) y su precisión ha sido ampliamente evaluada (Segurado & Araujo 2004, Elith *et al.* 2006, Phillips *et al.* 2006). El algoritmo de máxima entropía (MaxEnt) ha demostrado ser robusto en comparación con otros métodos (Elith *et al.* 2006), además es estable al utilizar un número reducido de registros (Hernandez *et al.* 2006, Wisz *et al.* 2008).

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio:** El estado de Guerrero se ubica en el sureste de México (16°17'-18°59' N and 98°04' - 102°10' O), con una extensión territorial de 63 796km<sup>2</sup> (3.3% del país). Presenta altitudes que van desde el nivel del mar hasta más de 3 500msnm (SEMAREN 2007). Se pueden distinguir cinco unidades geomorfológicas básicas: la Sierra Madre del Sur, la cuenca alta del Río Balsas, la Faja neovolcánica transversa, la Costa del Pacífico y los manglares mesoamericanos del norte Pacífico (Olson *et al.* 2001).

De acuerdo con Velázquez *et al.* (2002), los principales tipos de vegetación y usos de suelo son: selva baja caducifolia (31.04%), agricultura (17.16%), pastizales inducidos (15.73%) y asentamientos humanos (0.37%).

Los registros de presencia de jaguar, se obtuvieron a través de tres vías: a) Revisión de literatura científica actualizada (Rodríguez-Soto *et al.* 2011), b) Consulta de bases de datos electrónicas como Global Biodiversity Information Facility (GBIF), c) Trabajo de campo, buscando evidencias como rastros (huellas y excrementos), pieles o avistamientos. Para

el caso de los rastros se consideraron los criterios propuestos por Aranda (1996) y en el caso de los excrementos, estos se compararon con muestras de animales cautivos (Monroy-Vilchis *et al.* 2009). Sólo se consideraron registros a partir de 1990 con referencias geográficas precisas.

Para realizar los modelos de distribución se utilizaron 20 variables (Cuadro 1) que comprenden ocho bioclimáticas, derivadas de datos mensuales de precipitación y temperatura (Hijmans *et al.* 2005, Worldclim 2006), 10 variables de cobertura vegetal (Velázquez *et al.* 2002) y dos variables topográficas: altitud (www.worldclim.org) y pendiente, calculada a partir de la capa de altitud con el módulo de SLOPE del programa Idrisi Taiga. Todas las variables fueron ajustadas a un sistema geográfico de latitud-longitud, con una resolución de 1km<sup>2</sup>. Debido a que en el Estado de Guerrero se ha evidenciado una disminución en el crecimiento de la población humana de 1990-2000 (CONAPO 2004), sólo se consideraron los niveles de actividad humana sobre los mapas finales. Se modeló la distribución potencial actual y se realizó una predicción para el año 2024, debido a que existen 24 años de diferencia entre las capas que se usaron para realizar los modelos (1976 y 2000). Las variables climáticas del 2024 se representaron

considerando un escenario de cambio climático moderado (Worldclim 2006). El mapa de tipo de vegetación y uso de suelo para el 2024 (b) se calculó con el módulo Land Change Modeler de Idrisi Taiga. Para esto se usaron como base los mapas de vegetación y uso del suelo de México de los años 1976 y 2000 (a) para proyectar los cambios en 2024, y se consideraron siete variables: altitud, pendiente, distancias a poblaciones humanas rurales, distancias a los asentamientos humanos y agricultura (Eastman 2009).

Para estimar la distribución potencial de *P. onca* para 2000 y 2024, se utilizó la versión 3.2 de MaxEnt (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>). Este método estima la distribución de probabilidad de máxima entropía (es decir, la más cercana a la uniformidad), sujeta a la condición de que el valor esperado de cada variable ambiental, según esta distribución, coincide con su media empírica (Phillips *et al.* 2006). MaxEnt permite hacer predicciones en condiciones diferentes (climáticas, geográficas, entre otras), proyectando los valores de los datos del estado inicial, en este caso las condiciones en las que se da el jaguar en el hábitat potencial del 2000 sobre el nuevo contexto, clima y coberturas vegetales del 2024. Se mantuvieron los parámetros establecidos por el programa umbral de

#### CUADRO 1

Variables ambientales utilizadas para el desarrollo de los modelos de distribución de la especie para los años 2000 y 2024

TABLE 1  
Environmental variables use to develop species distribution models for 2000 and 2024

Variables climáticas y topográficas (www.worldclim.org).	Variables de vegetación y uso de suelo (Velázquez <i>et al.</i> 2002).
Porcentaje de precipitación de Enero	Bosque de coníferas
Porcentaje de precipitación de Mayo	Selva baja caducifolia y subcaducifolia
Porcentaje de precipitación de Septiembre	Bosque de latifoliadas
Porcentaje de precipitación de Octubre	Bosque de coníferas y latifoliadas
Promedio de la precipitación anual	Bosque mesófilo de montaña
Precipitación anual	Pastizales
Precipitación anual máxima	Agricultura
Estacionalidad de la temperatura	Asentamientos humanos
Altitud	Otros tipos de vegetación
Pendiente	Cuerpos de agua

convergencia=10<sup>5</sup>, iteraciones máximas=500, valor  $\beta$  de regularización=auto, sugeridos por Phillips *et al.* (2006), excepto el porcentaje utilizado para la evaluación del modelo que se modificó al 25% de los puntos; además se utilizó la prueba de Jackknife para estimar la importancia de las variables.

Fueron considerados como modelos robustos aquellos con valores de área bajo la curva mayores a 0.85 (Marmion *et al.* 2009). El modelo potencial de distribución lo generamos a partir de un mapa binario de presencia-ausencia, donde el valor del décimo percentil se usó como umbral de corte (Pearson *et al.* 2007, Tinco *et al.* 2009). Finalmente, en ambas predicciones (2000 y 2024) se combinaron las coberturas vegetales correspondientes, para estimar el porcentaje de estas en las áreas potenciales del jaguar.

La no persistencia del hábitat se asoció a la pérdida de hábitat y/o aumento de su fragmentación. Para esto, se midió y comparó el área total del hábitat potencial y el número de parches entre los años 2000 y 2024, se utilizó el módulo de AREA de Idrisi Taiga. La significancia de las diferencias en la pérdida del hábitat potencial y su fragmentación (número de parches) se evaluó a través de una prueba de X<sup>2</sup>.

Realizamos una evaluación del riesgo antropogénico (cacería), con base en las vías de acceso (CONABIO 2008), que se presenta en el hábitat potencial de *P. onca* del año 2000. Sobre este, se colocaron las vías de acceso (autopistas, carreteras y caminos), y en estas se aplicaron buffers de 10 y 5km para calcular tres niveles de riesgo de acuerdo con Thorn *et al.* (2009), quien propone que 10km son una

estimación conservadora de la distancia que puede caminar una persona desde puntos de acceso humanos (caminos y carreteras), por lo tanto más allá de esta distancia se considera como riesgo bajo. Para el caso de carreteras rurales se modificó la distancia a 5km, debido a que varias de estas vías en las montañas del estado se encuentran abandonadas (Cuadro 2).

Posterior a la clasificación del hábitat idóneo del 2000, se identificaron las zonas catalogadas con un criterio bajo de amenaza que presentarán 900km<sup>2</sup> de extensión mínima para conservar una población viable de jaguar (Rodríguez-Soto *et al.* 2011). Finalmente, con la intención de evidenciar la cantidad de otras especies, que tuvieran alguna categoría de riesgo (IUCN 2009), se protegerían con las mismas áreas seleccionadas para el jaguar, sobreponimos la distribución de estas especies con el modelo del 2000.

## RESULTADOS

Se obtuvieron 39 registros (34 de trabajo de campo, cuatro de literatura científica y uno de bases de datos) para realizar los modelos de distribución potencial, y se estimó que 18 361km<sup>2</sup> (29%) del estado, presenta hábitat potencial para el jaguar (Fig. 1A). El hábitat de *P. onca* incluyó principalmente las regiones biogeográficas de la Sierra Madre del Sur y la Costa del Pacífico. Este sitio, se caracteriza por el bajo porcentaje de cobertura de agricultura y pastizal, una variación estacional de la temperatura 18°C-25°C, con una precipitación máxima de 620mm y pendientes mayores a los 10°, que origina un bosque mesófilo

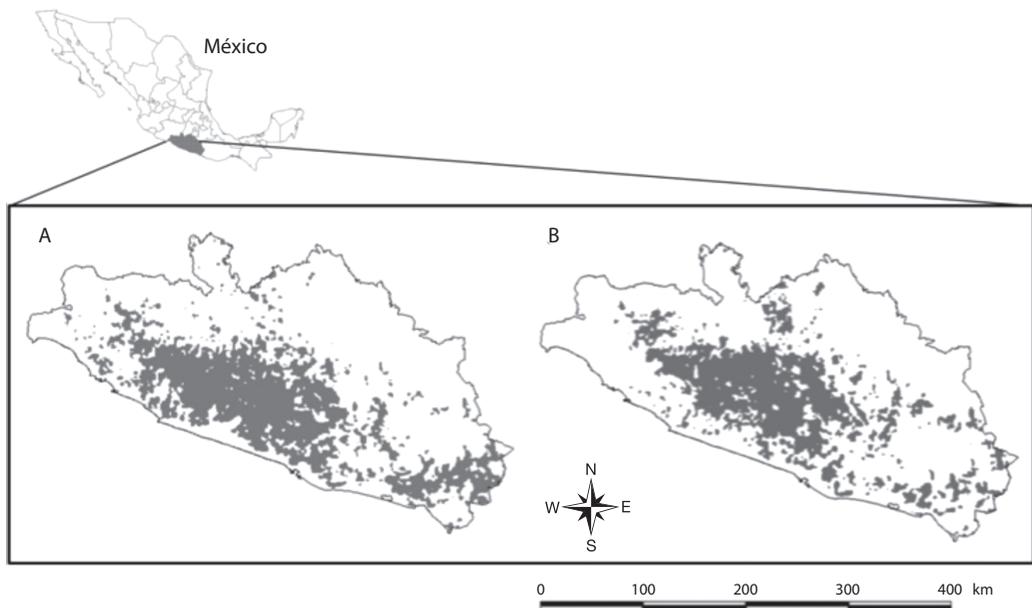
CUADRO 2

Criterios para la clasificación de riesgo del hábitat del jaguar en el año 2000 (Modificado de Thorn *et al.* 2009)

TABLE 2

Criteria for risk classification of jaguar habitat in 2000 (Modified from Thorn *et al.* 2009)

Medida	Bajo	Medio	Alto
Distancia a carreteras	>10km	>5km	Adyacente
Distancia a carreteras rurales	>5km	>2.5km	Adyacente
Distancia a poblados <5000 habitantes	>10km	>5km	Adyacente



**Fig. 1.** Hábitat potencial de *P. onca* (en oscuro), para los años: (A) 2000 y (B) 2024 en el estado de Guerrero.  
**Fig. 1.** Potential habitat of *P. onca* (in dark), for the years: (A) 2000 and (B) 2024 in Guerrero State.

importante. Finalmente, este modelo tiene alta capacidad de predecir el comportamiento de los datos con base en el valor del área bajo la curva (ABC=0.874). El hábitat potencial del jaguar se caracteriza por presentar las coberturas vegetales de bosque templado (56%) y selva baja caducifolia (35%); dentro del bosque templado, el bosque de coníferas y latifoliadas ocupa el 34%.

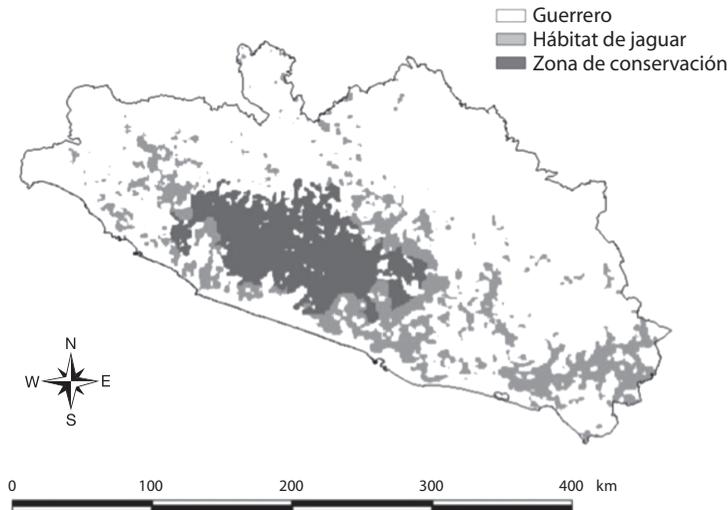
Para el 2000 el Estado de Guerrero presenta una extensión de 18 361km<sup>2</sup> de hábitat potencial de jaguar, extensión que se reduciría 16240km<sup>2</sup> para el 2024, que representa una pérdida de hábitat significativa ( $X^2=23.9$ , g.l.=1,  $p<0.001$ ) en 24 años. Por otra parte, mientras que el número de parches del hábitat en el 2000 fue de 153, para el 2024 aumenta a 183; este incremento no presentó diferencias estadísticamente significativas ( $X^2=1.68$ , g.l.=1,  $p>0.01$ ). Aunque no aumenta significativamente el número de parches en el 2024, la zona del sur-este del estado se vería más afectada por este hecho (Fig. 1A y B).

El 45.75% del hábitat de *P. onca*, principalmente ubicado en la Sierra Madre del Sur

(16°41' - 17°24' N and 99°58' - 99°24' O), observó un riesgo bajo de actividad humana, mientras que el 33.60%, que presenta un riesgo alto se ubica hacia el sur-este (16°31' - 16°59' N and 99°4' - 98°5' O). Al considerar la extensión de 900km<sup>2</sup> mencionada por Rodríguez-Soto *et al.* (2011) junto con el criterio del riesgo antropogénico bajo, se identificó un área en el centro-oeste del Estado con extensión de 7900km<sup>2</sup>, como prioritaria para la conservación de *P. onca* (Fig. 2). Potencialmente, esta zona, además podría proteger alrededor de 237 especies de mamíferos, reptiles y anfibios, que actualmente se encuentran bajo alguna categoría de riesgo (UICN 2009).

## DISCUSIÓN

El estado de Guerrero, históricamente ha sido ambientalmente poco estudiado debido a la problemática social que lo ha enmarcado (presencia de grupos armados). Con respecto a *P. onca* en particular, se ha evidenciado por varios autores, la imperante necesidad



**Fig. 2.** Zona prioritaria para la conservación de *Panthera onca* en el Estado de Guerrero, México.  
**Fig. 2.** Priority area for the conservation of *Panthera onca* in the Guerrero state, Mexico.

de generar información sobre la presencia y distribución de esta especie en el Estado, ya que es fundamental para estructurar estrategias de conservación, y de conectar poblaciones reproductivas del jaguar identificadas en la costa norte y sur del Pacífico (Sanderson *et al.* 2002, Rabinowitz & Zeller 2010, Rodríguez-Soto *et al.* 2011), que podrían quedar separadas (Rodríguez-Soto *et al.* 2011).

Las actividades agrícolas y pecuarias, realizadas a la fecha, han reducido y fragmentado el hábitat del jaguar y de sus presas a lo largo de su distribución (Sunquist & Sunquist 2001). El pastizal inducido con cortas extensiones también ha sido mencionado como una de las coberturas que usa el jaguar para desplazarse (Brown & López-González 2001), están asociadas con la actividad ganadera y por ende conflictos con los ganaderos (Rosas-Rosas *et al.* 2010) y muertes del jaguar.

La variación moderada en la estacionalidad de la temperatura es importante ya que determina la disponibilidad de los recursos y la productividad primaria (Badgley & Fox 2000). Por lo anterior, zonas con baja variación presentan mayor disponibilidad de recursos (pastos y herbívoros), en comparación con

otras zonas con estacionalidad marcada, donde se pueden ver mayormente afectadas las densidades poblacionales de *P. onca* (Rabinowitz 1999). Recientemente se estimó para México, que la biomasa de los artiodáctilos, grupo que reúne a unas de las principales presas del jaguar (Rosas-Rosas *et al.* 2008), aumenta en zonas con precipitaciones que van de 500-1 000mm ya que permiten alta productividad primaria (Mandujano & Naranjo 2010). La precipitación es un factor crítico que regula la productividad del ecosistema (Svoray & Karnieli 2010), según los valores de porcentaje de precipitación, los cuales reflejan la productividad primaria, esta zona presenta áreas con vegetación densa y pendientes pronunciadas, lugares menos perturbados que proveen refugio a este felino (Monroy-Vilchis *et al.* 2008, Monroy-Vilchis *et al.* 2009). Las características anteriormente mencionadas además de la temperatura y precipitación favorables se presentan en la zona ubicada como hábitat potencial del jaguar.

En la latitud de Guerrero, las coberturas densas y tropicales como hábitat de *P. onca* han sido importantes para este felino (Ortega-Huerta & Medley 1999, Núñez *et al.* 2002, Valdez *et al.* 2002, Rodríguez-Soto *et al.* 2011)

por ser zonas donde la especie puede alimentarse y refugiarse. Por otro lado, la presencia del felino en condiciones templadas en esta latitud ha sido considerada como atípica (Monroy-Vilchis *et al.* 2008), pero debido a los recientes hallazgos de esta especie en dichas zonas (Rodríguez-Soto *et al.* 2011), estas coberturas de bosque necesitan más estudios con respecto a la presencia del jaguar y su ecología, ya que aunque cada vez son más frecuentes los registros en estas zonas podrían no ser las mejores para el jaguar, aunque en otras latitudes no es raro encontrar a esta especie en sabanas y páramos y ambientes templados. En Guerrero, la selva caducifolia es una de las coberturas más afectadas por la expansión de la agricultura; entre los años 1976-2000 se perdió aproximadamente el 10% de su extensión original (SEMAREN 2007). Por lo que la reducción en el hábitat potencial entre los años 2000-2024, se puede deber principalmente al aumento del 9.2% de las zonas de actividad humana. Este aumento en las zonas agrícolas afecta principalmente la selva caducifolia, reduciéndose en 6% su extensión original. Aunque el número de parches no varió significativamente entre el 2000-2024, si existió una reducción en la extensión de los mismos, principalmente hacia las zonas donde el riesgo de actividad humana es mayor, es decir cerca de las carreteras y poblados, puntos de acceso humano que permiten la extracción de los recursos naturales (Thorn *et al.* 2009). Es conveniente identificar si existen conflictos ganaderos con el jaguar, con el fin de desarrollar planes que eviten la depredación del ganado, además de actividades que minimicen la ampliación de la frontera agrícola (Hoogesteijn *et al.* 2002).

El área que se encuentra hacia el sur-este del estado entre las coordenadas: 16°41' - 17°24' N and 99° 58' - 99°24' W, es la zona más vulnerable, debido tanto a la reducción del hábitat, como por aumento en el número de parches. Además, es de gran importancia por su ubicación. Aunque presenta áreas menores a 900km<sup>2</sup> que no podrían soportar una población de jaguar, pueden ser utilizados por la especie para descansar o alimentarse, aumentando la

habilidad de los individuos para desplazarse (Rabinowitz & Zeller 2010). Esta zona es prioritaria para comunicar a las poblaciones de *P. onca* de Guerrero, con las de Oaxaca, en donde es necesario realizar un análisis de fragmentación más detallado, junto con análisis de riesgo, a una escala espacial más fina, para así poder conservar una de las zonas identificadas como la más vulnerable dentro del hábitat del jaguar en Guerrero.

En el centro del estado, el riesgo de actividad humana es bajo, y se encuentra el área menos perturbada y estable. Esto puede deberse principalmente a la topografía tan compleja, con pendientes pronunciadas que dificultan el acceso a los seres humanos. Adicionalmente, también podría originarse a la histórica presencia de uno de los grupos armados más antiguos del país, el cual no ha facilitado el crecimiento urbano y por lo tanto expansión de la frontera agrícola, esta sería una situación similar a la de la cordillera central de los Andes Colombianos (Dávalos 2001).

Las áreas con diversas extensiones para proteger al jaguar pueden ser utilizadas en conjunto como red de reservas para la conservación de la especie (Weber & Rabinowitz 1996). Loyola *et al.* (2008), creen muy importante crear reservas extensas, en lugares que alberguen a carnívoros de talla grande, ya que consideran que la fragmentación del bosque incrementa la sensibilidad a la presión por cacería a poblaciones de estos vertebrados. Este estudio propone una zona prioritaria para la conservación del jaguar que considera principalmente la Sierra Madre del Sur, que además presenta persistencia al 2024. Esta eco-región ha sido catalogada clave para la conservación de especies endémicas y en peligro de extinción (Loyola *et al.* 2009). Además, fortalece la presencia de la Región Terrestre Prioritaria Sierra Madre del Sur de Guerrero, la cual se caracteriza por ser una región de alto endemismo y riqueza en todos los grupos de vertebrados (Arriaga *et al.* 2000), principalmente en aves (Koleff *et al.* 2008). Es una zona de captación de agua muy importante para la zona urbana costera y la cuenca del Balsas. Debido a

su integridad biológica y continuidad en vegetación natural, ha sido considerada como corredor biológico importante, pero carece de áreas bajo algún tipo de protección (Arriaga *et al.* 2000) por lo que se propone a la zona como área natural para la protección del jaguar y como apoyo para la conservación de los corredores del jaguar en Latinoamérica (Rabinowitz & Zeller 2010).

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al pueblo mexicano por financiar este estudio a través de la Universidad Autónoma del Estado de México con los proyectos FE014/2007-2009; del CONACYT con el proyecto 101254 y con la beca 217650/269863 y el PROMEP con el proyecto 103.5/10/0942. A Fernando Ruiz, por facilitarnos algunos registros de campo, a Clarita Rodríguez-Soto y Crystian Sadiel Venegas por su asesoría para realizar los modelos y a tres revisores anónimos por sus comentarios, así como Daisy Arroyo M., quienes fortalecieron la primera versión del manuscrito.

## RESUMEN

Guerrero se caracteriza por presentar extensiones considerables y adecuadas de hábitat para el jaguar, pero carece de áreas naturales protegidas. Son importantes los estudios sobre la persistencia de las áreas naturales protegidas debido a que ofrecen escenarios geográficos con mayor certidumbre de cumplir con el objetivo de la conservación biológica a largo plazo y con la optimización de recursos humanos y económicos. Existe evidencia de que variables ambientales y antropogénicas modifican la distribución de muchas especies de vertebrados, por lo que es necesario incluir estas variables como criterio en la selección de reservas. Se estimó la distribución potencial del jaguar utilizando MAXENT, misma que se usó como criterio para proponer áreas naturales protegidas en el Estado. Se realizó una proyección en el futuro para considerar el efecto de un escenario moderado de cambio climático y así poder proponer una zona de conservación que sea estable en un periodo de 24 años. También se aplicaron tres criterios de riesgo en la predicción actual para definir prioridades de conservación. Se determinó que el 29% del estado es hábitat idóneo para el jaguar y será persistente en el futuro. Se propone al área ubicada en la Sierra Madre del Sur para la conservación de *P. onca* y potencialmente 250 especies de

vertebrados amenazados ante la UICN. Conservar el hábitat de *P. onca* en Guerrero fortalecerá la red de corredores para la conservación del jaguar en Latinoamérica.

**Palabras clave:** áreas naturales protegidas, Guerrero, MaxEnt, *Panthera onca*.

## REFERENCIAS

- Anderson, R.P. & E. Martínez-Meyer. 2004. Modeling species' geographic distributions for conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biol. Conserv.* 116: 167-179.
- Aranda, M. 1996. Distribución y abundancia del jaguar *Panthera onca* (Carnivora; Felidae) en el estado de Chiapas, México. *Acta Zool. Mex.* 68: 45-52.
- Araújo, M.B., P.H. Williams & R. Fuller. 2002. Dynamics of extinction and the selection of nature reserves. *Proc. R. Soc. London, Ser. B.* 269: 1971-1980.
- Araújo, M.B., M. Cabezas, W. Thuiller & L. Hannah. 2004. Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve-selection methods. *Glob. Change Biol.* 10: 1618-1626.
- Araújo, M.B., D. Nogués-Bravo, A.F. Diniz-Filho, A.M. Haywood, P.J. Valdes & C. Rahbeck. 2008. Quaternary climate changes explain diversity among reptiles and amphibians. *Ecography* 31: 8-15.
- Araújo, M.B., D. Alagador, M. Cabeza, D. Nogués-Bravo & W. Thuiller. 2011. Climate change threatens European conservation areas. *Ecol. Lett.* 14: 484-489.
- Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez & E. Loa. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- Badgley, C. & D.L. Fox. 2000. Ecological Biogeography of North American Mammals: Species Density and Ecological Structure in Relation to Environmental Gradients. *J. Biogeogr.* 27: 1437-1467.
- Bezaury-Creel, J. & D. Gutiérrez. 2009. Áreas naturales protegidas y desarrollo social en México. CONABIO, México.
- Brown, D.E. & C.A. López-González. 2001. Borderland jaguars: Tigres de la frontera. University of Utah, Utah, EEUU.
- Colchero, C., D.A. Conde, C. Manterola, C. Chávez, A. Rivera & G. Ceballos. 2011. Jaguar on the move: modelling to mitigate fragmentation from road

- expansion in the Mayan Forests. *Anim. Conserv.* 14: 158-166.
- CONABIO. 2008. Red de carreteras de México. Escala 1: 1000000. CONABIO, México.
- CONAPO. 2004. Carpeta informativa, 11 de julio Día Mundial de la Población, México.
- Conde, D.A., F. Colchero, H. Zarza, N.L. Cristensen, J. Sexton, C. Manterola, C. Chávez, A. Rivera, D. Azuara & G. Ceballos. 2010. Sex matters: modelling male and female habitat differences for jaguar conservation. *Biol. Conserv.* 143: 1980-1988.
- Dávalos, L.M. 2001. The San Lucas mountain range in Colombia: how much conservation is owed to the violence? *Biodivers. Conserv.* 10: 69-78.
- Eastman, J.R. 2009. IDRISI Taiga Guide to GIS and Image Processing. Clark University, Worcester, Massachusetts, EEUU.
- Elith, J., C.H. Graham, R.P. Anderson, M. Dudik, S. Ferrier, A. Guisan, R.J. Hijmans, F. Hueffmann, 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 & N.E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.
- Ferrier, S. 2002. Mapping spatial pattern in biodiversity for regional conservation planning: where to from here? *Syst. Biol.* 51: 331-363.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2001. Global Forest Resources Assessment. ISSN 0258-6150, Forestry Paper 140, FAO, Rome, Italy. (Consultado: 24 abril 2009, <http://www.fao.org/forestry/fo/fra/index.jsp>).
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Gobierno de Dinamarca. (Consultado: 25 octubre 2008, [www.gbif.org](http://www.gbif.org)).
- Graham, C.H., C. Moritz & S.E. Williams. 2006. Habitat history improves prediction of biodiversity in rainforest fauna. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103: 632-636.
- Grigione, M.M., K. Menke, C. López-González, R. List, A. Banda, J. Carrera, R. Carrera, A.J. Giordano, J. Morrison, M. Sternberg, R. Thomas & B. Van Pelt. 2009. Identifying potential conservation areas for felids in the USA and Mexico: integrating reliable knowledge across an international border. *Oryx* 43: 78-86.
- Guisan, A. & N.E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Modell.* 135: 147-186.
- Hernandez, P.A., C.H. Graham, L. Master, M. Albert & D.L. Albert. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29: 773-785.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones & A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surface for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25: 1965-1978.
- Hoogesteijn, R., E.O. Boede & E. Mondolfi. 2002. Observaciones de la depredación de bovinos por jaguares en Venezuela y los programas gubernamentales de control, p. 183-198. *In* R. Medellín, C. Equihua, C. Chetkiewicz, P.G. Crawshaw Jr., A.R. Rabinowitz, K. Redford, J. Robinson, E. Sanderson & A. Taber (eds.). *Jaguar en el nuevo milenio*. Fondo de Cultura Económica, México.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN). 2009. Red List Threatened Species. Suiza. (Consultado: 3 febrero, [www.iucn.org](http://www.iucn.org)).
- Koleff, P., J. Soberón & A.G. Navarro. 2008. Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies, p. 323-364. *In* J. Soberón, G. Halfpeter & J. Llorente-Bousquets (eds.). *Capital Natural de México Vol. 1: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México.
- López-Gonzalez, C.A. & D.E. Brown. 2002. Distribución y estado de conservación actuales del jaguar en el noroeste de México, p. 379-392. *In* R. Medellín, C. Equihua, C. Chetkiewicz, P.G. Crawshaw Jr., A. Rabinowitz, K. Redford, J.G. Robinson, E. Sanderson & A. Taber (eds.). *El jaguar en el nuevo milenio*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Loyola, R.D., G. de Oliveira, J.A.F. Diniz-Filho & M. Lewinsohn. 2008. Conservation of Neotropical carnivores under different prioritization scenarios: mapping species traits to minimize conservation conflicts. *Divers. Distrib.* 14: 949-960.
- Loyola, R.D., U. Kubota, G.A.B. da Fonseca & M. Lewinsohn. 2009. Key Neotropical ecoregions for conservation of terrestrial vertebrates. *Biodivers. Conserv.* 18: 2017-2031.
- Mandujano, S. & E.J. Naranjo. 2010. Ungulate biomass across a rainfall gradient: a comparison of data from Neotropical and Palaeotropical forests and local analyses in Mexico. *J. Trop. Ecol.* 26: 13-23.

- Margules, C.R. & L. Preseey. 2000. Systematic conservation planning. *Nature* 405: 243-253.
- Marmion, M., M. Parviainen, M. Luoto, R.K. Heikkinen & W. Thuillier. 2009. Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Divers. Distrib.* 15: 59-69.
- Miller, B.W. & A.R. Rabinowitz. 2002. ¿Por qué conservar al jaguar?, p. 303-315. *In* R. Medellín, C. Equihua, C. Chetkiewicz, P.G. Crashaw Jr., A.R. Rabinowitz, K. Redford, J.G. Robinson, E. Sanderson & A. Taber (eds.). *El jaguar en el nuevo milenio*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Monroy-Vilchis, O., O. Sánchez, U. Aguilera, P. Suárez & V. Urios. 2008. Jaguar (*Panthera onca*) in the State of Mexico. *Southwest. Nat.* 53: 533-537.
- Monroy-Vilchis, O., C. Rodríguez-Soto, M. Zarco-González & V. Urios. 2009. Cougar and jaguar habitat use and activity patterns in central Mexico. *Anim. Biol.* 59:145-157.
- Morueta-Holme, N., C. Flojgaard & J.C. Svenning. 2010. Climate change risks and conservation implications for a threatened small-range mammals species. *PLoS One* 5: e10360.
- Núñez, R., B. Miller & F. Lyndzey. 2002. Ecología del jaguar en la reserva de la biosfera Chamela-Cuixmala, p. 107-126. *In* R. Medellín, C. Equihua, C. Chetkiewicz, A.R. Rabinowitz, K. Redford, J. Robinson, E. Sanderson & A. Taber (eds.). *El jaguar en el nuevo milenio*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Olson, D.M., E. Dinerstein, E.D. Wiramanayake, N.D. Burgess, G.V.V. Powell, E.C. Underwood, J.A. D'Amico, I. Itoua, H.E. Strand, J.C. Morrison, C.J. Loucks, T.E. Allnutt, T.H. Ricketts, Y. Kura, J.F. Lamoreux, W.W. Wettengel, P. Hedaq & K.R. Kassem. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. *Bioscience* 51: 933-938.
- Pearson, R.G., C.J. Raxworthy, M. Nakamura & T.A. Peterson. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *J. Biogeogr.* 34: 102-117.
- Peterson, A.T. & D.A. Vieglais. 2001. Predicting species invasions using ecological niche modeling: new approaches from bioinformatics attack a pressing problem. *Bioscience* 51: 363-371.
- Phillips, S.J., R.P. Anderson & R.E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Modell.* 190: 231-259.
- Rabinowitz, A.R. & K.A. Zeller. 2010. A range-wide model of landscape connectivity and conservation for the jaguar, *Panthera onca*. *Biol. Conserv.* 143: 939-945.
- Rodríguez-Soto, C., O. Monroy-Vilchis, L. Maiorano, L. Boitani, J.C. Faller, M.Á. Briones, R. Núñez, O. Rosas-Rosas, G. Ceballos & A. Falcucci. 2011. Predicting potential distribution of the jaguar in Mexico: identification of priority areas for conservation. *Divers. Distrib.* 17: 350-361.
- Rosas-Rosas, O. & J.H. López-Soto. 2002. Distribución y estado de conservación del jaguar en Nuevo León, México, p. 379-392. *In* R. Medellín, C. Equihua, C. Chetkiewicz, P. Crawshaw, A.R. Rabinowitz, K. Redford, J. Robinson, E. Sanderson & A. Taber (eds.). *El jaguar en el nuevo milenio*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Rosas-Rosas, O.C., L.C. Bender & R. Valdez. 2008. Jaguar and puma predation on cattle calves in northeastern Sonora, Mexico. *Rangeland Ecol. Manag.* 61: 554-560.
- Rosas-Rosas, O., L.C. Bender & R. Valdez. 2010. Habitat correlates of jaguar kill-sites of cattle in northeastern Sonora, Mexico. *Human-Wildlife interactions* 4: 103-111.
- Sanderson, E.W., K.H. Redford, C. Chetkiewicz, R. Medellín, A.R. Rabinowitz, J.G. Robinson & A. Taber. 2002. Planning to save a species: the jaguar as a model. *Conserv. Biol.* 16: 58-72.
- Segurado, P. & M.B. Araujo. 2004. An evaluation of methods for modeling species distributions. *J. Biogeogr.* 31: 1555-1568.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Guerrero (SEMAREN). 2007. Programa Estatal de Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Guerrero (POET). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Guerrero, México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010. Protección ambiental, especies nativas de México de flora y fauna silvestres, categorías de riesgo y especificación por su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación.

- Sunquist, M. & F. Sunquist. 2001. Changing landscapes: consequences for carnivores, p. 399-418. *In* J.L. Gittleman, S.M. Funk, D. Macdonal & R.K. Wayne (eds.). *Carnivore Conservation*. Cambridge University, Reino Unido.
- Svoray, T. & A. Karnieli. 2010. Rainfall, topography and primary production relationships in a semiarid ecosystem. *Ecohydrology* 4: 56-66.
- Thorn, J.S., V. Nijman, D. Smith & K.A. Nekaris. 2009. Ecological niche modelling as a technique for assessing threats and setting conservation priorities for Asian slow lorises (Primates: *Nycticebus*). *Divers. Distrib.* 15: 289-298.
- Tinco, B.A., P.X. Astudillo, S.C. Latta & C.H. Graham. 2009. Distribution, ecology and conservation of an endangered Andean hummingbird: the Violet-throated Metaltail (*Metallura baroni*). *Bird Conserv. Int.* 19: 63-76.
- UNEP-WCMC. 2005. ANEP-WCMC Species database. CITES-listed species. (Consultado: 12 enero 2009, <http://www.cites.org>).
- Velázquez, M.A., J.F. Mas, G. Díaz & R. Mayorga. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecol.* 62: 21-37.
- Weber, W. & A.R. Rabinowitz. 1996. A global perspective on large carnivore conservation. *Conserv. Biol.* 10: 1046-1054.
- Wisz, M.S., R.J. Hijmans, A.T. Peterson, A. Graham, A. Guisan & N.P.S.D.W. Group. 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Divers. Distrib.* 14: 763-773.
- Worldclim. 2006. Universidad de California, Berkeley. (Consultado: 4 febrero 2010, [www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)).
- Zarza, H., C. Chávez & G. Ceballos. 2007. Uso de hábitat del jaguar a escala regional en un paisaje con actividades humanas en el sur de la Península de Yucatán, p. 101-110. *In* G. Ceballos, C. Chávez, R. List & H. Zarza (eds.). *Conservación y manejo del jaguar en México: estudios de caso y perspectivas*. Conabio - Alianza WWF- Telcel - Universidad Nacional Autónoma de México, México.

