

Distribución potencial de los ungulados silvestres en la Reserva de Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán, México

Andrea I. Ortíz-García¹, Michelle I. Ramos-Robles¹,
Luz A. Pérez-Solano¹ y Salvador Mandujano^{2*}

Abstract

The Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve (TCBR), located between the states of Oaxaca and Puebla, is characterized by its high biological, geological and cultural diversity, as well as a high percentage of endemic species. In this site is inhabited by the collared peccary *Pecari tajacu*, red brocket deer *Mazama temama* and white-tailed deer *Odocoileus virginianus*, which are widely used by rural communities. However, more information is required for their sustainable management. The aim of this study was to estimate the potential distribution of these species in the TCBR. Data of species presence and 28 layers of environmental information were used to model the potential distribution through the Maximum Entropy (MaxEnt) algorithm. Considering a total area of 4,906 km² for TCBR, the potential distribution of collared peccary, red brocket deer and white-tailed deer, were estimated at 78%, 3% and 92% respectively. Seven variables explained the distribution of the three species. The results suggest that the environmental characteristics of the TCBR offer better conditions for the presence of white-tailed deer and collared peccary, while for the red brocket, the conditions are marginal. We discuss some possible implications for the management of these ungulates according to ecological, social and cultural needs of the region.

Key words: ecological niche modeling, conservation, white-tailed deer, collared peccary, red brocket deer.

Resumen

La Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán (RBTC), ubicada entre los estados de Oaxaca y Puebla, se caracteriza por tener alta diversidad biológica, geológica y cultural, así como un alto porcentaje de endemismos. En este sitio habitan el pecarí de collar *Pecari tajacu*, temazate rojo *Mazama temama* y venado cola blanca *Odocoileus virginianus*, los cuales son ampliamente aprovechados por las comunidades rurales. Sin embargo, se requiere mayor información para su manejo sustentable. El objetivo del presente estudio fue estimar la distribución potencial de estas especies en la RBTC.

¹División de Posgrado, Instituto de Ecología A.C., Carretera Antigua Coatepec No. 351, El Haya, Xalapa, Veracruz, 91070
Email: aerdna96@hotmail.com (AIO-G), ramosrobles.m@gmail.com (MIR-R), basilisco_azul@hotmail.com (LAP-S)

² Red de Biología y Conservación de Vertebrados, Instituto de Ecología A.C., Carretera Antigua Coatepec No. 351, El Haya, Xalapa, Veracruz, 91070. E-mail: salvador.mandujano@inecol.edu.mx (SM)

*Corresponding author

Usando como aproximación el algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt), se emplearon registros de presencia de las especies y 28 capas de información ambiental para modelar la distribución potencial de cada una de ellas. Considerando un área total de 4,906 km² para la RBTC, la distribución potencial del pecarí de collar, temazate rojo y venado cola blanca se estimaron en 78%, 3% y 92%, respectivamente. Siete variables explicaron la distribución de las tres especies. Los resultados sugieren que las características ambientales de la RBTC ofrecen mejores condiciones para la presencia del venado cola blanca y del pecarí de collar, mientras que para el temazate rojo las condiciones son marginales. Se discuten algunas posibles implicaciones para el manejo de estos ungulados de acuerdo a las necesidades ecológicas, sociales y culturales de la región.

Palabras clave: modelación de nicho ecológico, conservación, venado cola blanca, pecarí de collar, venado temazate.

Introducción

La Reserva de la Biósfera de Tehuacán-Cuicatlán (RBTC) constituye una muestra excepcional de los ecosistemas semiáridos del trópico mexicano debido a su alta diversidad biológica, geológica, cultural y de endemismos (Dávila *et al.* 2002). La región de Tehuacán-Cuicatlán contiene cerca del 10% de la flora de México y más de 400 especies de vertebrados. Sin embargo, su diversidad y endemismo florístico han acaparado la mayoría de los esfuerzos en investigación dejando a un lado el conocimiento de las poblaciones y/o comunidades animales como por ejemplo los mamíferos (Briones-Salas 2000; Botello *et al.* 2005, 2006a, 2006b). Se tienen registradas 131 especies, agrupado en 9 órdenes y 24 familias, siendo el grupo de los murciélagos el mejor representado con 55 especies (Rojas-Martínez y Valiente-Banuet 1996; Briones-Salas y Sánchez-Cordero 2004).

Dentro de los límites de la RBTC se ha reportado la presencia de poblaciones de pecarí de collar *Pecari tajacu*, venado temazate rojo *Mazama temama* y venado cola blanca *Odocoileus virginianus* (Téllez *et al.* 2010). Similar a otras regiones del país (Mandujano y Rico-Gray 1991; González-Pérez y Briones-Salas 2000; Naranjo *et al.* 2004), en la RBTC estos ungulados silvestres son ampliamente aprovechados en las comunidades rurales para complementar el consumo de proteína animal, para el comercio, fabricación de artesanías, y recreación. Además, el aprovechamiento de estas especies, principalmente del venado cola blanca, ha aumentado notablemente en las Unidades para la Conservación y Uso Sustentable de la Vida Silvestre mejor conocidas como UMA (Villarreal 1999; Villarreal-Espino 2006). Por ende, es urgente la generación de información biológica apoyada en estudios científicos y participación de los diferentes sectores sociales involucrados, con el fin de manejar sustentablemente las poblaciones de estos ungulados. Tradicionalmente, las Áreas Naturales Protegidas (ANP) han servido como sitios para generar información biológica de estos organismos (Gallina *et al.* 2007), y las Reservas de Biosfera tienen el potencial para sostener poblaciones mínimas viables (Mandujano y González-Zamora 2009; Yáñez-Arenas *et al.* 2012a). Por lo tanto, generar información básica de la especie como su distribución, densidad, uso de hábitat, entre otros aspectos, permitirá generar estrategias que coadyuven a la conservación, manejo sustentable y recuperación tanto de la especie como de sus hábitats.

Modelar y predecir la distribución geográfica de las especies ha recibido especial atención en los últimos años para tratar de encontrar una aproximación más acorde a la realidad y también debido a la amplia aplicabilidad que esto conlleva en diversas disciplinas, tales como biogeografía, ecología, evolución, manejo de recursos, epidemiología y conservación, entre otras (Philips *et al.* 2006). Es un método innovador, que entre muchas otras cosas permite producir mapas que con ayuda de Sistemas de Información Geográfica predicen dónde pueden encontrarse o no las especies. La probabilidad de presencia de las especies es cuantificada y relacionada directamente a variables ambientales subyacentes y a las localidades de presencias conocidas (Scott *et al.* 2002). El objetivo de los métodos de modelación es predecir la idoneidad ambiental para las especies en función de las variables ambientales dadas (Philips *et al.* 2006). Los modelos de distribución están siendo usados no solo para entender los requerimientos ecológicos de las especies sino también para entender aspectos de la biogeografía, predecir la existencia de poblaciones y especies desconocidas, identificar sitios para translocaciones y reintroducciones, selección de áreas para la conservación, prevención de los efectos del cambio climático, entre otros (Guisan y Thuiller 2005; Peterson *et al.* 2002).

El objetivo del presente estudio fue estimar la distribución potencial del pecarí de collar, temazate rojo y venado cola blanca en la Reserva de la Biósfera de Tehuacán-Cuicatlán a través de modelos de nicho ecológico. Esta región es afectada por las actividades antropogénicas principalmente la fragmentación del hábitat, la cacería no controlada, el pastoreo, la disminución de las fuentes acuíferas y la construcción de vías de comunicación (SEMARNAT 2003). Estos factores pueden afectar el estado poblacional y la distribución de los ungulados silvestres dentro de la zona. Por lo que es importante generar información biológica de las especies (Ortiz-García y Mandujano 2011; Pérez-Solano *et al.* 2012; Yáñez-Arenas *et al.* 2012b; Ramos *et al.* en prensa) lo cual permitirá definir estrategias para su conservación y manejo sustentable (<http://venadosrbtc.blogspot.com>).

Material y Métodos

Área de estudio. La Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán (RBTC) forma parte de la Sierra Madre del Sur y ocupa la zona noroccidental de la subprovincia de la Meseta de Oaxaca. Se localiza en el extremo sureste del estado de Puebla y noreste de Oaxaca entre las latitudes de 17.65° a 18.88° N y de -96.91° a -97.73° W. La superficie que cubre es de 4,906 km², y su altitud varía de los 600 a los 2,950 msnm (Fig. 1). La temperatura media anual en el valle de Tehuacán varía entre los 18° a 22° C, y aumenta a 24.5° C en Cuicatlán (INEGI 1981). El clima árido es controlado en gran parte por la Sierra de Zongolica que se encuentra entre el valle y el Golfo de México, ya que los vientos húmedos y las nubes cargadas de agua son interceptados por las montañas.

El promedio anual de precipitación en la región del valle varía desde los 250 a 500 mm, y se presenta principalmente de mayo a octubre, con mayores posibilidades de precipitación entre junio y septiembre (Enge y Whiteford 1989). Los principales tipos de vegetación y uso de suelo en la región que comprende parte del área protegida y la región terrestre prioritaria del valle de Tehuacán-Cuicatlán son: la selva baja caducifolia

con un 29% del territorio de la reserva; terrenos dedicados a la agricultura, crianza de ganado y de explotación forestal con el 22%; el bosque de encino y pino con 21%; el matorral desértico rosetófilo con predominancia de arbustos espinosos y una presencia importante de cactáceas con el 10%; el matorral crasicaule con vegetación dominada por cactáceas de gran tamaño con el 8%; y otros tipos de vegetación con el 10% (Fig. 1; Arriaga *et al.* 2000; CONANP 2008).

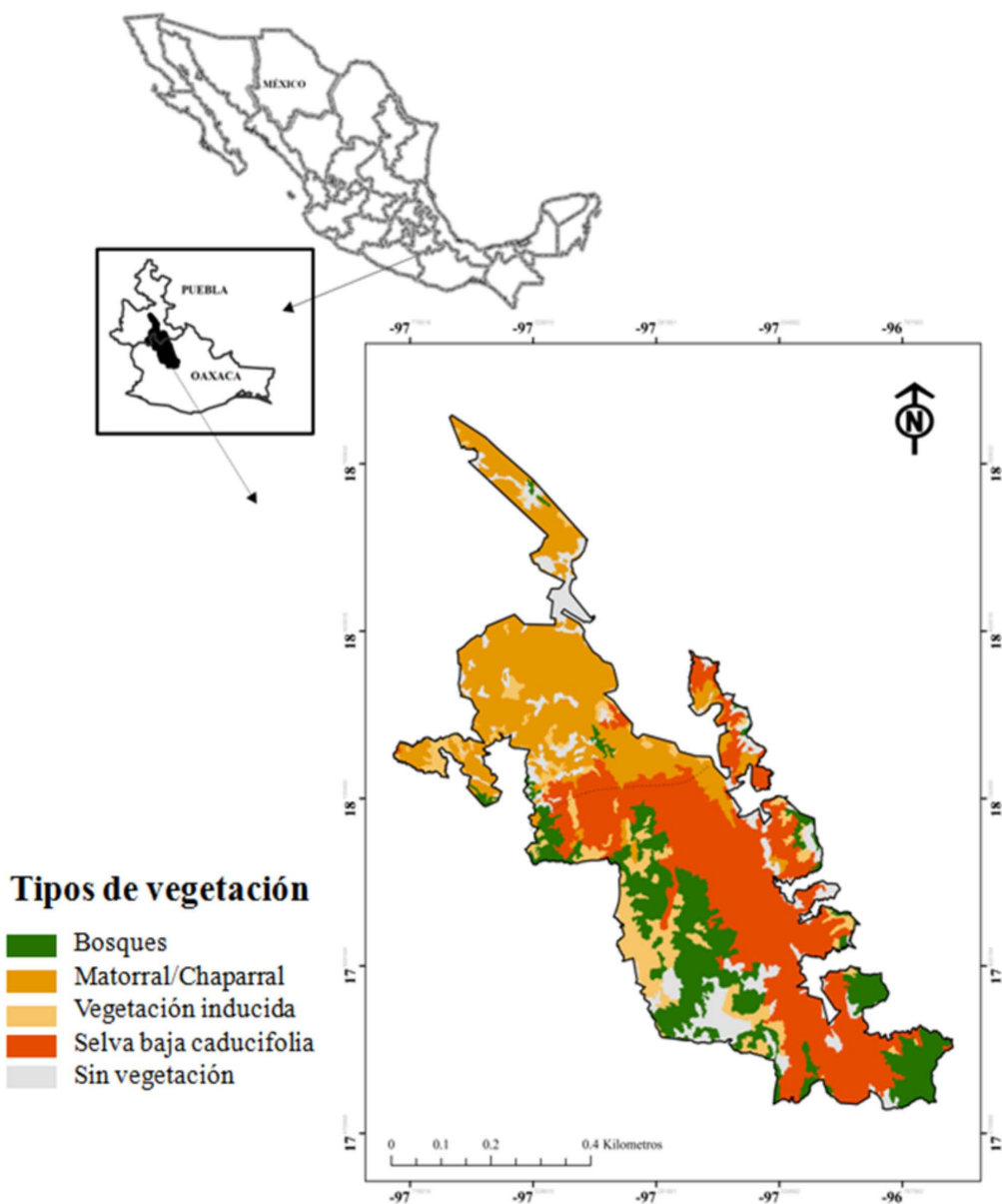


Figura1. Localización geográfica del sitio de estudio, Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán. Se presentan los tipos de vegetación. La línea punteada presenta el límite estatal.

Obtención de registros de las especies

Bases de datos. Los registros de presencia para México de las tres especies fueron obtenidos de bases de datos nacionales electrónicas: Unidad Informática para la Biodiversidad (UNIBIO, www.unibio.unam.mx), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, www.conabio.gob.mx), e internacionales Global

Biodiversity Information Facility (GBIF, www.gbif.org), Mammal Networked Information System (MaNIS, www.manisnet.org), así como de literatura, artículos, tesis y/o trabajos que incluyeran datos puntuales de la localidad donde la especie haya sido encontrada y/o estudiada. Para la verificación, el registro debía contener la georreferencia y/o la localidad. En los casos en los que solamente la localidad fuera dada, ésta se posicionó geográficamente con la ayuda de buscadores o gaceteros en línea. Los registros repetidos y los que no pudieron ser validados fueron omitidos.

Registros en campo. Para obtener datos de presencia del pecarí de collar y venado cola blanca se llevó a cabo un muestreo en campo en 9 localidades en la región de La Cañada en Oaxaca (San Gabriel Casa Blanca, Santa María Tecomavaca, San Juan Quiotepec, San Pedro Jaltepetongo, Santa María Almoloyas, Santa María Ixcatlán, San Juan Los Cues, San Juan Bautista Cuicatlán y San José del Chilar) donde los comuneros mostraron el interés de conocer la distribución de estas especies. Entre abril a junio del 2010 y del 2011 se aplicaron muestreos empleando métodos indirectos mediante identificación principalmente de heces, huellas, echaderos y/o comederos. Estos registros se realizaron a lo largo de transectos de franja de 500 m por 2 m (8 por comunidad) empleados para estimar la densidad poblacional del venado cola blanca como parte de otros estudios (Yáñez-Arenas *et al.* 2012b; Ramos-Robles *et al.* en prensa). Así mismo, se hicieron encuestas en localidades en Puebla (Santa Ana Teloxtoc, San Juan Raya, San Antonio Texcala, Zapotitlán Salinas, Los Reyes Metzontla, San Luis Atolotitlan y Caltepec) y en Oaxaca (San Pedro Chicozapote, San Juan Teponaxtla, San Juan Tepeuxila, Zaragoza, Ixcatlán y Jaltepetongo) con el objetivo de saber si estas especies estaban presentes en dichas localidades y obtener más datos georreferenciados de presencia.

Para el caso del venado temazate rojo se realizó una búsqueda intensiva de la presencia de la especie en distintas comunidades dentro de la Provincia Biogeográfica Oaxaqueña (PBO; CONABIO 1997) de abril de 2010 a febrero de 2011. La selección de las comunidades se hizo con base en información proporcionada por los pobladores de la región y personal de la RBTC. Se seleccionaron 7 comunidades de la región y áreas aledañas (San Juan Bautista Atlatlahuca, Oax., Ojo de agua en Santa Ma. Pápalo, Oax., Cerro Temazate en Santa Ma. Pápalo, Oax., Huautla de Jiménez, Oax., Xaltepec, Pue., Tlaixco, Ver. y Atempa de los Reyes, Ver.). Una vez seleccionadas éstas, se realizaron recorridos libres en las áreas indicadas por las autoridades comunales y guías de campo.

No se realizaron muestreos sistematizados en el área debido a que las características irregulares del terreno y la materia orgánica del suelo complican el encontrar evidencia de la presencia del temazate. La búsqueda de rastros consistió en encontrar evidencias confiables que indicaran la presencia del temazate rojo en el área (huellas, excretas o avistamientos). No se consideraron registros tales como pasaderos, talladeros, echaderos o comederos, debido a que en algunos sitios existía la posibilidad de confundir los rastros con venado cola blanca. Adicionalmente, se empleó foto trampeo como método adicional para tener registros y certeza de la presencia del temazate (Pérez-Solano *et al.* 2012). Se usaron 12 cámaras (modelos "Bushnell Trophy Cam Night vision Trail Camera" y "Wildview Extreme 5") en 4 sitios colocándolas en pasaderos naturales de venados. De manera complementaria, se realizaron algunas entrevistas a pobladores de diversas comunidades con conocimiento sobre la especie.

Modelación de la distribución potencial

Las capas con información de las características ambientales para México se obtuvieron a través de diversos medios: las climáticas del WorldClim (Hijmans *et al.* 2005; www.worldclim.org) y las topográficas del U. S. Geological Survey del proyecto Hidro1k (eros.usgs.gov) y del Modelo Digital de Elevaciones (ESRI 2000). La resolución espacial de las capas en formato raster fue de 0.01 grados, lo cual equivale aproximadamente a un 1 km² por pixel. Con base en análisis preliminares para probar posible auto-correlación y al conocimiento de los requerimientos de hábitat del pecarí de collar (March y Mandujano 2005), venado cola blanca (Gallina *et al.* 2010) y temazate rojo (Bello *et al.* 2010), se utilizaron diferentes variables para la modelación de distribución de cada especie (Anexo 1).

Para generar los mapas de distribución potencial de las tres especies a través del modelado de nicho ecológico, se utilizó el software MaxEnt 3.2.1 (Phillips *et al.* 2006) y el Sistema de Información Geográfica ArcView 3.2 (ESRI 2000). Debido a que los modelos generados por MaxEnt reflejan la probabilidad de condiciones adecuadas para la presencia de la especie, éstos se reclasificaron con la ayuda del ArcView 3.2. Para esta reclasificación se tomó en cuenta el valor mínimo de probabilidad para la presencia de cada especie, obteniendo como resultado mapas binarios (presencia-ausencia). Como complemento, se obtuvieron las curvas de respuesta para las variables usadas y se aplicó la prueba de Jackknife para conocer el porcentaje de contribución de cada variable al modelo. Los modelos se evaluaron a partir de la capacidad que tiene la predicción para discriminar entre los registros para generar el modelo y los registros de prueba elegidos aleatoriamente. Esto se analizó mediante la prueba del área bajo la curva ROC ("Receiving Operating Characteristic") hecha por el mismo MaxEnt (Hernández *et al.* 2006). Además, se constató cuántos de los registros de prueba cayeron dentro del área de predicción.

Para la modelación del pecarí de collar se empleó la información obtenida para las regiones biogeográficas confluyentes en la RBTC que son el Eje Volcánico, Provincia de Oaxaca y Sierra Madre del Sur (CONABIO 1997). Mediante la carta de uso de suelo y vegetación (Serie III Inventario Nacional Forestal, INEGI 2005) se eliminaron aquellas zonas con una alta actividad humana (zonas urbanas, agrícolas, forestales, vegetación inducida y sin vegetación aparente) por considerarlas inapropiadas para la presencia de la especie. Se utilizó el 20% de los datos de presencia para la validación. Para el temazate rojo la modelación se hizo para toda la Provincia Biogeográfica de Oaxaca (PBO) con la finalidad de agrupar los sitios de estudios de acuerdo a sus características físicas y biológicas. El mapa de distribución binaria fue recortado con los tipos de vegetación apta para la presencia del venado temazate rojo: selvas altas perennifolias, selvas medianas subperennifolias, bosque mesófilo de montaña, pino-encino y pino, así como eliminando las zonas con alta actividad humana. Para este procedimiento se hizo uso de la carta de uso del suelo y vegetación (Serie III Inventario Nacional Forestal, INEGI 2005). Se seleccionó el 25% de los datos de presencia para la validación. En cuanto al venado cola blanca el modelo se generó únicamente para la RBTC. En el caso particular de esta especie, se generaron variables de presión humana, las cuales se obtuvieron a partir del punto de presencia de la especie hacia las localidades más cercanas. De la

misma manera se obtuvo la distancia a caminos, tomando la distancia del camino más próximo. Una vez obtenida la información de estas distancias, se crearon dos capas tipo *raster* con la misma resolución que las anteriores, con la finalidad de ser incluidas en el modelo de distribución potencial. Todo lo anterior se realizó con el programa ArcView 3.2. Debido a la cacería que podría existir en la zona, las variables de distancia a caminos y localidades se tomaron como indicador indirecto de la presión de cacería que podría provenir de las localidades muestreadas. La validación se hizo con el 25% de los datos de presencia.

Resultados

Pecarí de collar

Se obtuvieron un total de 59 registros de presencia del pecarí de collar incluyendo tanto los datos obtenidos durante el trabajo de campo como de las colecciones. El modelo se generó con el 80% de ellos (48) y se verificó con el 20% (11) restantes elegidos al azar por el mismo MaxEnt. Se observó que el 99% del área total de la RBTC tiene características ambientales idóneas para la presencia del pecarí de collar. Sin embargo, al considerar el uso y vegetación de la zona, ésta área potencial se redujo al 78% (Fig. 2a). La estacionalidad de la temperatura, la elevación al nivel del mar, la pendiente, la precipitación del trimestre más frío, la estacionalidad de la precipitación, la precipitación del periodo más seco, la precipitación del trimestre más cálido y la isothermalidad fueron las variables que en conjunto contribuyeron casi en un 92.2% en la generación de la predicción (Tabla 1). La prueba de Jackknife aplicada a la importancia de las variables mostró que la variable ambiental con la mayor importancia y que aporta más información fue la estacionalidad de la temperatura. De acuerdo con el análisis de las curvas ROC, el modelo presentó una buena predicción (AUC = 0.988) y los datos de validación presentaron un buen ajuste (AUC = 0.980). En cuanto a los registros utilizados para probar el modelo, el 100% de ellos estuvieron dentro del área de predicción.

Tabla 1. Estimado del porcentaje de contribución relativa de las variables que en conjunto explican más del 75% para el modelo de nicho ecológico de cada una de las especies de ungulados silvestres de la Reserva de Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. (-) indica que esa variable no contribuyó significativamente (>10%) para esa especie.

Variable	Pecarí de collar	Temazate rojo	Venado cola blanca
Precipitación del trimestre más frío	10.3	47.3	-
Elevación al nivel del mar	14.4	18.5	-
Pendiente	11.1	11.1	23.5
Temperatura máxima del mes más seco	-	4.9	14.6
Distancia a localidades	-	-	31.5
Precipitación total anual	-	-	17.8
Estacionalidad de la temperatura	41.0	-	-

Temazate rojo

Se obtuvieron un total de 41 registros de temazate rojo para la PBO incluyendo tanto los datos obtenidos durante el trabajo de campo como de las colecciones y literatura. El modelo se generó con el 75% de los registros (31) y se validó con el 25% (10). Este modelo fue recortado con el polígono de la RBTC. Se encontró que solo un 33% del territorio de la reserva presenta características climáticas y topográficas adecuadas para que habite el temazate rojo. Sin embargo, al considerar los tipos de vegetación

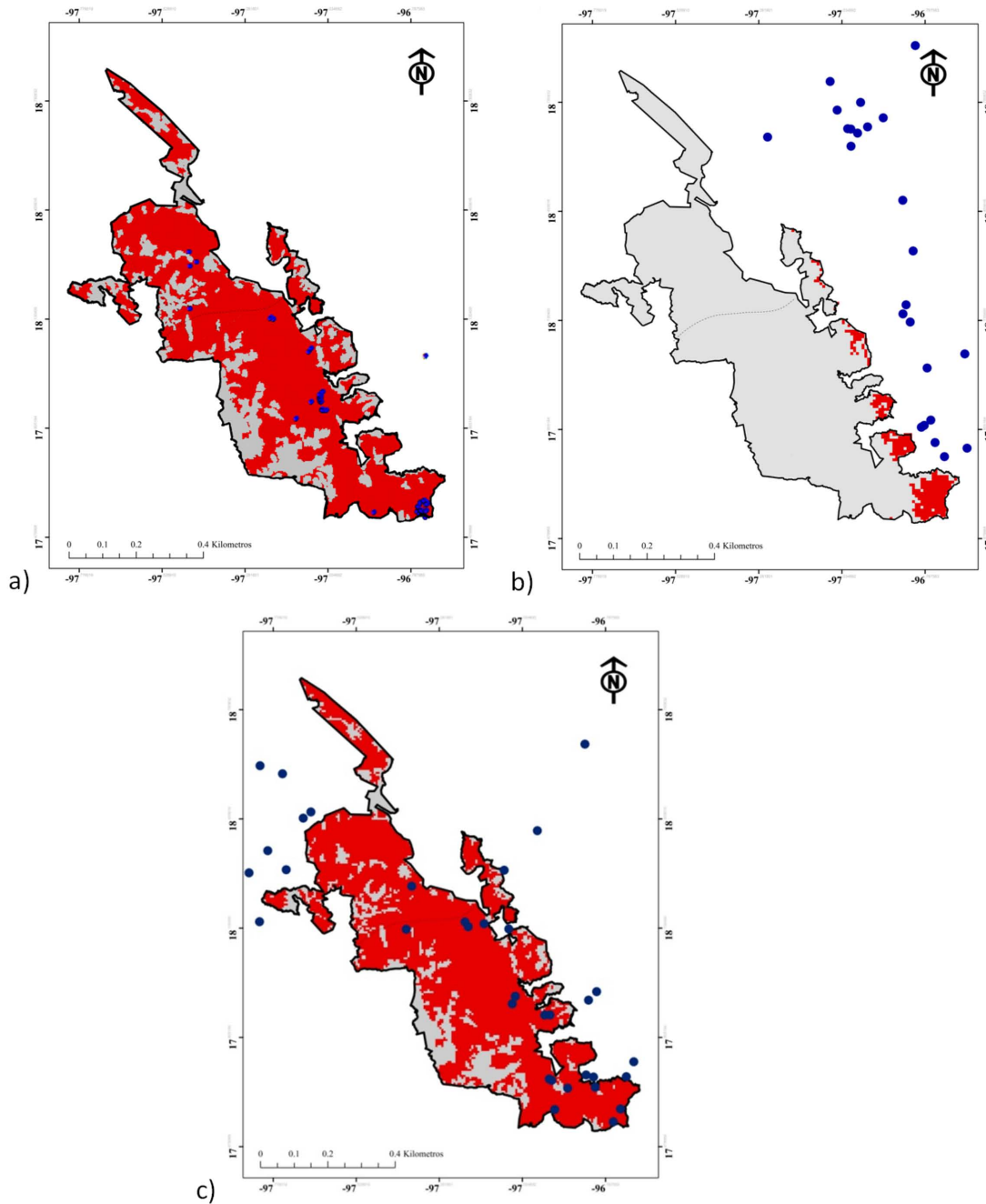


Figura 2. Modelo predictivo de la distribución potencial (rojo-presencia, gris-ausencia) del pecarí de collar (a), temazate rojo (b) y venado cola blanca (c) en la Reserva de Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Se muestran en azul los registros con los que se elaboró el modelo.

donde habita la especie, esta área potencial se redujo hasta un 12%, la cual considera la región de la Mixteca poblana, donde aún no ha sido confirmada la presencia de este cérvido. Si esta región es eliminada, el área potencial resultante cubre únicamente un 3% (Figura 2b). La precipitación del cuarto más frío, el modelo digital de elevación, la pendiente, la isothermalidad y la orientación de laderas fueron las variables que contribuyeron casi en un 90% en la generación del modelo (Tabla 1). De acuerdo a la prueba de Jackknife, las variables que contribuyen con una mayor ganancia en el modelo por sí solas fueron la isothermalidad, la precipitación del trimestre más frío, la pendiente y el intervalo de temperatura anual. La variable de la orientación de laderas fue la más determinante, al ser eliminada el mayor ajuste del modelo se pierde. Según

el análisis de las curvas ROC, el modelo presentó una buena predicción (AUC = 0.954) y una buena validación (AUC = 0.948).

Venado cola blanca

Se obtuvieron un total de 23 datos de presencia de la especie dentro de la RBTC incluyendo tanto los datos obtenidos durante el trabajo de campo como de las colecciones y literatura. Se emplearon el 75% (17) para generar el modelo y el 25% (6) para validarlo.

Los resultados indicaron que la distribución potencial del venado cola blanca abarcó el 92% del área total de la RBTC. En total, la distancia a localidades, la pendiente, la precipitación total anual, la temperatura máxima del mes más cálido, y la isothermalidad fueron las variables que contribuyeron casi en un 91% para la construcción del modelo (Tabla 1). Según la prueba de Jackknife, la distancia a las localidades y la pendiente fueron las variables de mayor importancia y peso. De acuerdo a la prueba de curvas ROC, el desempeño del modelo fue mejor que uno aleatorio (AUC = 0.915), siendo lo mismo para los datos de entrenamiento (AUC = 0.858). En cuanto a los puntos utilizados para la validación externa, estos se sobrepusieron en el modelo cayendo todos dentro del área predicha.

Discusión

Distribución en la RBTC

Potencialmente casi toda la RBTC presentó condiciones abióticas necesarias para la distribución del pecarí de collar y del venado cola blanca, lo que denota una amplitud de nicho más grande (Sowls 1984; Gallina *et al.* 2010; Yañez-Arenas *et al.* 2012a) respecto al temazate rojo que es una especie con requerimientos más específicos (Bello *et al.* 2010). El hecho es que, si bien existe la idoneidad ambiental para el establecimiento de poblaciones silvestres, esto no significa que exista la presencia de éstas en todas las áreas predichas. Existen otros factores, sobre todo bióticos y los relacionados a las actividades humanas, que pueden estar afectando la disponibilidad de recursos para la presencia de las especies y por ende su distribución (Soberón y Peterson 2005). En nuestro estudio delimitamos las distribuciones de los ungulados omitiendo aquellas zonas con una alta actividad antrópica y/o con los tipos de vegetación no preferidos. Lo anterior resultó en disminuciones importantes en las áreas de distribución de las tres especies. El cambio de uso de suelo es una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad, pues puede provocar la desaparición eventual de ciertas poblaciones dentro de las áreas de distribución de las especies (Peterson *et al.* 2002).

La pendiente fue la única variable explicativa de la distribución común entre las tres especies, presentando un mayor peso para el venado cola blanca, esta variable ha sido relacionada con la estrategia de escape para el venado pues se ha reportado que utiliza pendientes no muy pronunciadas de hasta 9° (Segura 1998), lo que coincide con lo encontrado en este estudio. Sin embargo, la probabilidad de presencia de la especie también se asoció a zonas con mayor inclinación, lo que puede explicarse por la presión que puede estar ejerciendo las actividades humanas (los animales encuentran mayor protección en áreas menor accesibles como barrancas). Lo anterior concuerda con Bolívar-Cimé (2009) donde también encontró al venado asociado a pendientes más pronunciadas en sitios con mayor presión humana.

La importancia de la marcada estacionalidad de la temperatura para el pecarí de collar como la variable de mayor peso en la predicción puede ser atribuida al tipo de clima y vegetación existentes en la región. En general el 73.5% de la superficie de ésta presenta climas secos o áridos (García 1981; CONANP 2008). En estos climas la cantidad y calidad de la cobertura vegetal dependerá de la estacionalidad de la temperatura y la precipitación (Trejo y Dirzo 2000). El pecarí de collar es un organismo que requiere de la presencia de una cobertura vegetal desarrollada para protegerse de las condiciones extremas, de los depredadores y para su descanso (Gabor *et al.* 2001). La precipitación del trimestre más frío (noviembre, diciembre y enero) resultó ser la variable que más contribuyó en la predicción para el venado temazate. La disponibilidad de alimento y la producción vegetal en la época de estiaje dependerá de la cantidad de precipitación que haya en la región en los meses invernales previos (Galindo-Leal y Weber 1997). En sitios donde la precipitación de estos meses alcance los 140 mm, habrá una mayor probabilidad de presencia de la especie.

Para el venado cola blanca, las variables de distancia a localidades de mayor densidad humana y pendiente fueron las que mayoritariamente explicaron la predicción. Los sitios de menor distancia a localidades y caminos con tránsito vehicular han sido reportados como zonas de baja calidad para la presencia del venado (Segura 1998; Delfín-Alfonso *et al.* 2007, 2009). Estos sitios pueden presentar una mayor pérdida de la vegetación así como una mayor presión de cacería. Asimismo, la pendiente del terreno tuvo significancia para las tres especies. Esta variable ha sido reportada como importante en el hábitat de diferentes especies de ungulados (Delfín-Alfonso *et al.* 2007; Yáñez-Arenas *et al.* 2012a). En particular para este estudio, las pendientes de mayor inclinación, preferidas por estas especies, están relacionadas con el tipo de vegetación asociada, con la disponibilidad de cobertura vegetal y alimento, con los sitios de refugio y protección contra depredadores, con la incidencia y la exposición solar, y con los sitios más conservados y de difícil acceso para el humano. Por otra parte, los valores porcentuales de contribución de las variables deben ser tomados con cautela debido a que éstos están definidos heurísticamente por MaxEnt, lo que significa que dependen de la ruta que usa el algoritmo para obtener la solución óptima. Esto es que, bajo otras rutas, por ejemplo otro algoritmo u algún otro parámetro diferente, se podrían modificar estos porcentajes (Phillips *et al.* 2006).

Implicaciones en la conservación

El establecimiento de las Áreas Naturales Protegidas representa una herramienta estratégica tanto para la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad, como para asegurar el aprovechamiento sustentable de los ecosistemas. Sin embargo, no son unidades aisladas y las interacciones constantes que tienen con su alrededor pueden influir positiva o negativamente para el cumplimiento de esto (SEMARNAP 1998). Con base en nuestro estudio, observamos que dentro del polígono de la RBTC existen factores inherentes al desarrollo humano que están afectando la situación actual de los diferentes ecosistemas que ahí persisten y consecuentemente sobre las poblaciones de las especies animales, a pesar de que existan las condiciones ambientales idóneas para su presencia.

Nuestro estudio es un primer avance al conocimiento de los requerimientos y de la posible distribución del pecarí de collar, del venado temazate y del venado cola blanca

dentro de la Reserva de la Biósfera de Tehuacán-Cuicatlán. El conocimiento generado podría ayudar en los esfuerzos de conservación que actualmente se están pretendiendo llevar a cabo con estas especies dentro de esta área natural protegida.

Es crucial implementar estrategias de manejo que incorporen el mantenimiento y la recuperación de estos ambientes para poder así asegurar la viabilidad de poblaciones de las especies bajo estudio y de muchas otras más por consecuencia, pero también es sustancial empatar éstas con el progreso de las comunidades humanas persistentes en la zona.

En particular, para el venado temazate rojo la representatividad del bosque mesófilo de montaña y demás bosques templados dentro de la RBTC es muy baja. La mayor parte de las tierras altas que rodean a la RBTC se encuentran fuera de la protección que ésta le confiere, lo que conlleva a que la presencia del venado temazate también se vea limitada. Resulta importante y urgente el implementar medidas de protección hacia estas zonas, hábitat primordial de la especie, que si bien no son poseedoras de endemismos como en el caso de los territorios del valle de Tehuacán-Cuicatlán, si lo son de una alta biodiversidad de flora y fauna. La mayor amenaza hacia estos ambientes es la transformación de los bosques templados y tropicales en tierras de cultivo y extensiones para ganadería (Velázquez *et al.* 2003; Gómez-Mendoza *et al.* 2006).

Agradecimientos

Agradecemos los comentarios y sugerencias al trabajo original de las tesis de las tres primeras autoras donde se desprende este trabajo, en particular a E. Pineda, R. Reyna-Hurtado, S. Gallina y M. Hidalgo. A A. Vázquez, F. Contreras, F. Mora, y a las personas de cada localidad por su ayuda en campo. A L. A. Escobedo-Morales por facilitarnos registros e información acerca del temazate rojo. Asimismo, agradecemos a la Reserva de la Biósfera de Tehuacán-Cuicatlán en particular a J. C. Pizaña y J. M. Salazar Torres por las facilidades otorgadas. El financiamiento y apoyo logístico del presente estudio fue soportado por la Red de Biología y Conservación de Vertebrados del Instituto de Ecología A.C.; el proyecto CONACYT CB-2009-0-130702; y las becas 232620, 39795 y 38342 otorgadas por el CONACyT para estudios de posgrado del primer, segundo y tercer autor respectivamente.

Literatura citada

- ARRIAGA, L., J. M. ESPINOZA, C. AGUILAR, E. MARTÍNEZ, L. GÓMEZ, Y E. LOA** (eds.). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Ciudad de México, México.
- BELLO-GUTIÉRREZ, J., R. REYNA-HURTADO, Y J. WILHAM.** 2010. Central American red brocket deer *Mazama temama* (Kerr, 1992). Pp. 166-171 in Neotropical cervidology: biology and medicine of Latin American deer (Duarte, J. M. B., y S. González, eds.). Fundação de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão (FUNEP), Jaboticabal, Brasil/ International Union for Conservation of Nature (IUCN). Gland, Suiza.
- BOLIVAR-CIMÉ, A.** 2009. Análisis del hábitat óptimo y modelado de nicho ecológico para la conservación del venado cola blanca en el centro de Veracruz. Tesis de Maestría, Instituto de Ecología A. C. Xalapa, México.

- BOTELLO, F., P. ILLOLDI, M. LINAJE, G. MONROY, Y V. SÁNCHEZ-CORDERO.** 2005. Nuevos registros del tepezcuintle (*Agouti paca*), para el norte del estado de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76:103–105.
- BOTELLO, F., P. ILLOLDI-RANGEL, M. LINAJE, Y V. SÁNCHEZ-CORDERO.** 2006a. Primer registro del tigrillo (*Leopardus wiedii*, Schinz 1821) y del gato montés (*Lynx rufus*, Kerr 1792) en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán–Cuicatlán, Oaxaca, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) 22:135–139.
- BOTELLO, F., J. M., SALAZAR, P. ILLOLDI-RANGEL, M. LINAJE, MONROY, G., DUQUE, D., Y V. SÁNCHEZ-CORDERO.** 2006b. Primer registro de la nutria neotropical de río (*L. longicaudis*) en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77:133-135.
- BRIONES-SALAS, M.** 2000. Lista anotada de los mamíferos de la región de La Cañada, en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Oaxaca, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) 81:83-103.
- BRIONES-SALAS, M., Y V. SÁNCHEZ-CORDERO.** 2004. Mamíferos. Pp. 423–448 in *Biodiversidad de Oaxaca* (García-Mendoza, A., M. J. Ordóñez, y M. Briones-Salas, eds.). Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México/Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la naturaleza/ World Wide Fund for Nature. Ciudad de México, México.
- CONABIO (COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD).** 1997. Provincias biogeográficas de México. Escala 1:4000000. Ciudad de México, México. URL: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/rbiog4mgw.gif> Fecha de consulta: 7 de Enero de 2010.
- CONANP (COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS).** 2008. Dirección de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. <http://tehuacan-cuicatlan.conanp.gob.mx/>
- DÁVILA, P., M. ARIZMENDI, A. VALIENTE-BANUET, J. L. VILLASEÑOR, A. CASAS, Y R. LIRA.** 2002. Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 11:421-442.
- DELFIN-ALFONSO, C., Y S. GALLINA.** 2007. Modelo de evaluación del hábitat para el venado cola blanca en un bosque tropical caducifolio en México. Pp. 193-202 in *Escarabajos, Diversidad y Conservación Biológica: Ensayos en Homenaje al Dr. Gonzalo Halffter* (Zunino, M., y A. Milic. Eds.). Monografías Tercer Milenio. Zaragoza, España.
- DELFIN, C., S. GALLINA, Y C. LÓPEZ-GONZÁLEZ.** 2009. Evaluación del hábitat del venado cola blanca utilizando modelos espaciales y sus implicaciones para el manejo en el centro de Veracruz, México. *Tropical Conservation Science* 2:215-228.
- ENGE, K., Y S. WHITEFORD.** 1989. Ecology, irrigation, and the state in the Tehuacan Valley, Mexico. Pp. 19-40 in *Human Systems Ecology: Studies in the Integration of Political Economy, Adaptation, and Socionatural Regions* (Smith, S. y E. Reeves, eds). Westview Press. University of Texas Press. Houston, EE.UU.
- ESRI.** 2000. Arc View ver. 3.2. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands. Redlands, EE.UU.
- GABOR, T. M., E. C. HELLGREN, Y J. S. NOVA.** 2001. Multi-Scale Habitat Partitioning in Sympatric Suiforms. *Journal of Wildlife Management* 65:99-110.

- GALINDO-LEAL, L., Y M. WEBER.** 1997. El Venado de la Sierra Madre Occidental: Ecología, Manejo y Conservación. Ediciones Culturales S. Cuadernos para el Diálogo, S.A. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- GALLINA, S., S. MANDUJANO, Y C. DELFÍN-ALFONSO.** 2007. Importancia de las áreas naturales protegidas para conservar y generar conocimiento biológico de las especies de venados en México. Pp. 187-196 in Hacia una cultura de conservación de la diversidad biológica (Halffter, G., S. Guevara, y A. Melic. eds.). Monografías Tercer Milenio. Zaragoza, España.
- GALLINA, S., S. MANDUJANO, J. BELLO, H. F. LÓPEZ-ARÉVALO, Y M. WEBER.** 2010. White-tailed deer *Odocoileus virginianus* (Zimmermann 1780). Pp. 101-118 in Neotropical Cervidology. (Duarte J. M. B., y S. González. eds.). Fundação de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão (FUNEP), Jaboticabal, Brasil/ International Union for Conservation of Nature (IUCN)/Fundación Empresa Pública, Gland, Suiza.
- GARCÍA, E.** 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köeppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- GÓMEZ-MENDOZA, L., E. VEGA-PEÑA, M. I. RAMÍREZ, J.L. PALACIO-PRieto, Y L. GALICIA.** 2006. Projecting land-use change processes in the Sierra Norte of Oaxaca, Mexico. *Applied Geography* 26:276-290.
- GONZÁLEZ-PÉREZ, G., Y M. BRIONES-SALAS.** 2000. Venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en comunidades indígenas de Oaxaca. *Investigación Hoy* 94:20-27.
- GUISAN, A., Y W. THUILLER.** 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8:993-1009.
- HERNÁNDEZ, P. A., C. H. GRAHAM, L. L. MASTER, Y D. L. ALBERT.** 2006. The effect of simple 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, Y A. JARVIS.** 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25:1965-1978.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática).** 1981. Carta Topográfica, 1:250,000. Oaxaca, E 14-9. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Ciudad de México, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática).** 2005. Conjunto de Datos Vectoriales de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Escala 1:250,000, Serie III, Continuo Nacional. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Ciudad de México, México.
- MANDUJANO, S., Y A. GONZÁLEZ-ZAMORA.** 2009. Evaluation of natural conservation areas and wildlife management units to support minimum viable populations of white-tailed deer in Mexico. *Tropical Conservation Science* 2:237-250.
- MANDUJANO, S., Y V. RICO-GRAY.** 1991. Hunting, use, and knowledge of the biology of the white-tailed deer, *Odocoileus virginianus* (Hays), by the Maya of central Yucatan, Mexico. *Journal of Ethnobiology* 11:175-183.

- MARCH, I., y S. MANDUJANO.** 2005. Pecarí de collar. Pp 524-527 in Los mamíferos silvestres de México (Ceballos, G., y G. Oliva. Coords.). Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Fondo de Cultura Económica. Ciudad de México, México.
- NARANJO, E. J., M. M. GUERRA, R. E. BODMER, y J. E. BOLAÑOS.** 2004. Subsistence hunting by three ethnic groups of the Lacandon forest, Mexico. *Journal of Ethnobiology* 24:233-253.
- ORTÍZ-GARCÍA, A. I., y S. MANDUJANO.** 2011. Modelando la calidad del hábitat para el pecarí de collar en una Reserva de Biosfera de México. *Suiform Soundings* 11:14-27.
- PÉREZ-SOLANO, L. A., S. MANDUJANO, F. CONTRERAS-MORENO, y J. M. SALAZAR.** 2012. Primeros registros del temazate rojo *Mazama temama* en áreas aledañas a la Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83:875-878.
- PETERSON, T., M. ORTEGA-HUERTA, J. BARTLEY, V. SANCHEZ-CORDERO, J. SOBERÓN, R. BUDDEMEIER, y D. STOCKWELL.** 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature* 416:626-628.
- PHILLIPS, S. J., R. P. ANDERSON, y R. E. SCHAPIRE.** 2006. Maximum entropy modeling in species geographic distributions. *Ecological Modeling* 190:231-259.
- RAMOS-ROBLES, M. I., S. GALLINA, y S. MANDUJANO.** En prensa. Habitat and human factors associated with white-tailed deer density in tropical dry forest at Tehuacan-Cuicatlan Biosphere Reserve, Mexico. *Tropical Conservation Science*.
- ROJAS-MARTÍNEZ, A. E., y A. VALIENTE-BANUET.** 1996. Análisis comparativo de la quiroptero fauna del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla, Oaxaca. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) 67:1-23.
- SCOTT, J. M., P. J. HEGLUND, y M. I. MORRISON (Eds.).** 2002. Predicting species occurrences: issues of accuracy and scale. Island Press. Washington, EE.UU.
- SEGURA, W.** 1998. Application of the HEP Methodology and Use of GIS to Identify Priority Sites for the Management of White-Tailed Deer. Pp. 127-137 in *GIS Methodologies for Developing Conservation Strategies. Tropical Forest Recovery and Wildlife Management in Costa Rica* (Savitsky, B., y T. Lache, eds.). Columbia University Press. New York, EE.UU.
- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca).** 1998. Decreto por el que se declara área natural protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la región denominada Tehuacán-Cuicatlán, ubicada en los estados de Oaxaca y Puebla. *Diario Oficial de la Federación*. Viernes 18 de septiembre de 1998. Ciudad de México, México.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales).** 2003. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera "Tehuacán-Cuicatlán". Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México. (Sin publicar).
- SOBERÓN, J. M., y A. T. PETERSON.** 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2:1-10.
- SOWLS, L. K.** 1984. The peccaries. University of Arizona Press. Tucson, EE.UU.
- TÉLLEZ, V.O., V. FARIAS, A. P. DÁVILA, J. L. STEIN, S. R. LIRA, y F. J. BOTELLO.** 2010. Mammalian

- diversity in climatic domains for Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81:863 – 874.
- TREJO, I., y R. DIRZO.** 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in México. *Biological Conservation* 94:133-142.
- VELÁZQUEZ, A., E. DURÁN, I. RAMÍREZ, J. F. MAS, G. BOCCO, G. RAMÍREZ, y J. L. PALACIO.** 2003. Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico. *Global Environmental Change* 13:175-184.
- VILLARREAL, J. G.** 1999. Venado Cola Blanca: Manejo y Aprovechamiento Cinegético. Unión Ganadera Regional de Nuevo León. Monterrey, México.
- VILLARREAL-ESPINO BARROS, O. A.** 2006. El Venado Cola Blanca en la Mixteca Poblana: Conceptos y Métodos para su Conservación y Manejo. Fundación Produce Puebla A. C. Puebla, México.
- YAÑEZ-ARENAS, C. A., S. MANDUJANO, E. MARTÍNEZ-MEYER, y A. PÉREZ-ARTEAGA.** 2012a. Modelación de la distribución potencial y el efecto del cambio de uso de suelo en la conservación de los ungulados silvestres del Bajo Balsas, México. *Therya* 3:67-79.
- YAÑEZ-ARENAS, C. A., E. MARTÍNEZ-MEYER, S. MANDUJANO, y O. ROJAS-SOTO.** 2012b. Modelling geographic patterns of population density of the white-tailed deer in central Mexico by implementing ecological niche theory. *Oikos* 121:2081-2089.

Sometido: 3 de septiembre de 2012

Revisado: 5 de diciembre de 2012

Aceptado: 5 de diciembre de 2012

Editor asociado: Miguel Briones

Diseño gráfico editorial: Gerardo Hernández

VARIABLES AMBIENTALES EMPLEADAS PARA GENERAR LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LAS ESPECIES.

Tipo	Clave	Descripción	Variables utilizadas por especie		
			Pecari de collar	Temazate rojo	Venado cola blanca
	Bio1	Temperatura promedio anual (°C)	*		
	Bio2	Oscilación diurna de la temperatura (°C)	*		
	Bio3	Isotermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y 7)	*	*	*
	Bio4	Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)	*		*
	Bio5	Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C)	*	*	*
	Bio6	Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)	*		
	Bio7	Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 5 y 6)	*	*	
	Bio8	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)	*		*
Climáticas	Bio9	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)	*	*	
	Bio10	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C)	*		
	Bio11	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)	*		
	Bio12	Precipitación anual (mm)	*		*
	Bio13	Precipitación del periodo más lluvioso (mm)	*		
	Bio14	Precipitación del periodo más seco (mm)	*	*	
	Bio15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)	*	*	
	Bio16	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)	*		*
	Bio17	Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)	*	*	
	Bio18	Precipitación del cuatrimestre más cálido (mm)	*	*	*
	Bio19	Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)	*	*	*
	Orien	Orientación a laderas (°)	*	*	*
	Alt	Elevación (msnm)	*	*	
	Pend	Pendiente (°)	*	*	*
Topográficas	Flowacc	Acumulación de flujo de la corriente	*		
	Flowdir	Dirección del flujo de la corriente	*		
	Topoind	Aporte de la corriente y la pendiente del paisaje	*		
	NDVI	Índice de verdor			*
Presión humana	Loc	Distancia a localidades (km)			*
	Vías	Distancia a caminos			*