



Priorización de áreas para la conservación de aves en el occidente de la Faja Volcánica Transmexicana

Prioritizing areas for bird conservation at western Transmexican Volcanic Belt

Alejandra Galindo-Cruz¹, Verónica Carolina Rosas-Espinoza², Miguel Vásquez-Bolaños³ y Francisco Javier Sahagún-Sánchez^{4*}

¹ Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Zapopan, Jalisco, México.

² Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Departamento de Ecología. Zapopan, Jalisco, México.

³ Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Departamento de Botánica y Zoología. Zapopan, Jalisco, México.

⁴ Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas. Departamento de Políticas Públicas. Zapopan, Jalisco México.

* Autor de correspondencia
francisco.sahagun@cucea.udg.mx

RESUMEN

Para asegurar el mantenimiento de las poblaciones de vida silvestre y sus ecosistemas en México, es necesaria la identificación de regiones clave que resulten prioritarias y representativas para la mayor cantidad de ecosistemas y especies. En el presente estudio se identificaron sitios importantes para llevar a cabo acciones de conservación para las aves en el extremo occidental de la Faja Volcánica Transmexicana. Para tal efecto, se modeló la distribución de especies de aves prioritarias y se determinó la conectividad de las coberturas vegetales donde potencialmente se distribuyen las especies. Los resultados indican tres áreas óptimas, con distintas características ecológicas, determinadas por su nivel de conectividad y número de especies representadas como sitios relevantes de conservación para las aves prioritarias. Se destacan los sitios con coberturas de bosques templados y selvas, en la zona norte y centro sur de la zona de estudio. La información generada será útil para complementar la Red de Áreas Naturales Protegidas que favorezca la conservación de las aves prioritarias y los ecosistemas donde habitan en la zona de estudio.

PALABRAS CLAVE: áreas naturales protegidas, conectividad, especies prioritarias, Maxent, representatividad.

ABSTRACT

Ensuring the maintenance of wildlife populations and ecosystems in Mexico demands identifying essential regions that have priority and representative of the most significant ecosystems and species. In the present study, priority areas were determined to carry out conservation actions for birds located at the western Transmexican Volcanic Belt. For this purpose, we modeled the distribution of priority bird species; then, we determined the connectivity of the vegetation cover where the species are potentially distributed. The results indicate three optimal areas as relevant conservation sites, with different ecological characteristics, determined by their connectivity level and the number of bird species represented. The sites with temperate forest cover and tropical forest in the north and south center of the study area stand out. The information generated will help complement a network of Natural Protected Areas that favors the conservation of bird diversity and their ecosystems in this study area.

KEYWORDS: natural protected areas, connectivity, priority species, Maxent, representativeness.

INTRODUCCIÓN

La transformación y desaparición de los ecosistemas disminuye la viabilidad de las poblaciones silvestres y puede provocar la extinción local o total de especies en regiones específicas (Primack, Rozzi, Feinsinger, Dirzo y Massardo, 2001; Kattan, 2002). En México, el Sistema de Áreas Naturales Protegidas (Sinap, 2019) es una estrategia clave para garantizar la conservación de especies y ecosistemas prioritarios. Sin embargo, en muchos casos dichas áreas se han definido de forma poco sistemática, lo que resulta en reservas ineficientes, localizadas en sitios que no contribuyen a la representación de la biodiversidad regional y que conservan pocas especies en relación con su superficie (Ceballos, 2007; Margules y Sarkar, 2009) ya que no en todos los casos cumplen con la extensión y hábitats necesarios para su subsistencia (Álvarez y Morrone, 2004).

Para atender los vacíos y las omisiones en la Red de Áreas Naturales Protegidas (ANP), se requiere en primer término realizar estudios que integren patrones ecológicos y biogeográficos (Leader-Williams y Dublin, 2000) en el análisis de selección de sitios importantes para la conservación como los elementos clave para definir prioridades de conservación ya que estos representan la biología evolutiva de las especies (Verissimo, MacMillan y Smith, 2011; Ochoa-Ochoa, Mesía-Domínguez y Bezaury-Creek, 2017).

En este sentido, México cuenta con distintas estrategias para fomentar la conservación de la biodiversidad a nivel nacional, entre las que se encuentran: áreas naturales protegidas (ANP), regiones terrestres prioritarias (RTP) (Arriaga-Cabrera *et al.*, 2000) y en particular, para el caso del enfoque ornitológico, destacan las áreas de importancia para la conservación de las aves (AICAS) y los sitios Ramsar (Arizmendi y Márquez, 2000). Sin embargo, son las ANP las únicas con un marco normativo en la legislación nacional, por lo que constituyen la estrategia base para la conservación de la biodiversidad y sus ecosistemas (Villavicencio-García, Ávila-Coria, Guerrero, Santiago-Pérez y Treviño-Garza, 2017).

A lo largo del país existen diversas áreas de interés prioritario para la conservación de las aves (Arizmendi y Márquez, 2000). Entre dichos sitios, se localiza la Faja Volcánica Transmexicana (FVT), donde subsiste 66% de la diversidad de aves del país y posee un alto número de aves endémicas (Escalante, Navarro-Sigüenza y Peterson 1993; García-Trejo y Navarro-Sigüenza, 2004; Navarro-Sigüenza, Lira-Noriega, Peterson, Oliveras de Ita y Gordillo-Martínez, 2007). Particularmente, en los extremos oriental y occidental de la FVT (Ferrari, Orozco-Esquivel, Manea y Manea, 2012) confluyen dos regiones biogeográficas extensas y diversas: la Neártica y la Neotropical, lo que ha generado un mosaico de afinidades ecológicas complejas de flora y fauna, que conducen a una concentración significativa de endemismo (Peterson y Navarro-Sigüenza, 1999).

Con la finalidad de estudiar dichas afinidades ecológicas, se pueden utilizar los Modelos de Distribución de Especies (MDE) como una herramienta que permite abordar las relaciones que existen entre los factores abióticos y la distribución de las especies (Guisan y Thuiller, 2005; Elith *et al.*, 2006). De esta manera, se sobreentiende que el análisis de los patrones de distribución tiene un alto potencial para proporcionar información relevante, que puede ser utilizada para entender la historia evolutiva de las especies y que el conocimiento de la distribuciones ecológicas y geográficas es un insumo fundamental para la planificación de conservación del territorio (Ferrier, 2002; Richards, Carstens y Knowles, 2007).

En la región occidental de la FVT se presentan distintos ecosistemas naturales (bosques templados, selvas, pastizales, ecosistemas hidrófilos, entre otros) que favorecen la presencia de una diversidad biológica importante que además provee de distintos servicios ecosistémicos. Infortunadamente se presentan en la zona procesos de cambio en el uso de suelo que producen la pérdida de conectividad en la matriz del paisaje (Villavicencio-García, Saura-Martínez de Toda, Santiago-Pérez y Chávez-Hernández, 2009; Sánchez-Cordero, Illoldi-Rangel y Linaje, 2012). Lo anterior, demanda de acciones que garanticen el mantenimiento de la



conectividad de las distintas unidades paisajísticas, como criterio primordial en la gestión territorial y como medida para mitigar algunos efectos de la actual tasa de fragmentación (Margules y Sarkar, 2009).

Por otro lado, la estrecha relación entre las especies y su ambiente puede causar patrones específicos observables en escalas espaciales (Yañez-Arenas, Martínez-Meyer, Mandujano y Rojas-Soto, 2012; Maciel-Mata, Manríquez-Morán, Octavio-Aguilar y Sánchez-Rojas, 2015). Por lo que, integrar las zonas con idoneidad ambiental, disponibilidad del hábitat y continuidad paisajística entre los fragmentos de distintos tipos de vegetación utilizados por las especies, puede ayudar a identificar áreas prioritarias para la conservación al considerar rasgos o especies nuevas o desprotegidas como principio de complementariedad ecológica (Williams *et al.*, 1996; Peterson, Egbert, Sánchez-Cordero y Price, 2000; Lechner, Sprod, Carter y Lefroy, 2017).

OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo fue identificar áreas prioritarias donde existan condiciones óptimas para implementar acciones de conservación para las especies de aves prioritarias con base en el análisis de distribución real y potencial de las especies, así como la evaluación de conectividad del paisaje para la región occidental de la Faja Volcánica Transmexicana. La información generada será útil para sustentar las acciones orientadas al reconocimiento de sitios importantes para la conservación en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la región occidental de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT) que comprende una superficie de 2 406 424 ha, delimitada de acuerdo con la propuesta de regionalización elaborada por Ferrari *et al.* (2012) (Fig. 1). La región occidental de la FVT cuenta con una altitud que parte desde el nivel del mar y hasta los 4260 m s.n.m. El área de estudio se pueden localizar dos dominios climáticos: el primero que presenta una

temperatura promedio anual de 19 °C y una precipitación promedio anual de 900 mm, este dominio se localiza en las zonas bajas y en el extremo occidental, mientras que en el segundo dominio, que concentra las zonas templadas del área de estudio, la temperatura promedio anual es más baja, oscilando cerca de los 16 °C y que además, presenta mayores niveles de precipitación 960 mm anuales en promedio (Suárez-Mota, Téllez-Valdés y Martínez-Meyer, 2014). Por lo que en la misma se presenta distintos tipos de cobertura forestal, que incluyen desde bosques templados en las regiones de mayor altitud y selvas, pastizales y vegetación hidrófila en las tierras bajas.

Selección de especies

Con la finalidad de garantizar la mayor representatividad de las especies en las áreas prioritarias para la conservación, se seleccionaron las especies de aves terrestres que tuvieran al menos parte de su distribución en el área de estudio y que, además: 1) estuvieran listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2010), 2) que fueran prioritarias de conservación (DOF, 2014) y/o bien 3) que fueran endémicas de México. Para este último criterio, se consideraron las especies reconocidas como endémicas por Berlanga *et al.* (2017) así como aquellos linajes endémicos propuestos por Navarro-Sigüenza y Peterson (2004). Posteriormente, se eliminaron aquellas especies para las que no se contaba con información suficiente (al menos cinco localidades de registro en México) con lo que se obtuvieron un total de 121 especies ([Suplemento 1](#)).

Se construyó una base de datos con las localidades de presencia provenientes de diversas fuentes (Navarro-Sigüenza, Peterson y Gordillo-Martínez, 2003; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio], 2018; eBird, 2018) y se agregaron registros de campo de muestreos realizados en el periodo 2011-2018. Del total de registros se eliminaron aquellos que provenían de fuentes dudosas o que se encontraban lejos de la distribución geográfica conocida para cada especie. El número de registros por especie varió entre 6 y 1562.

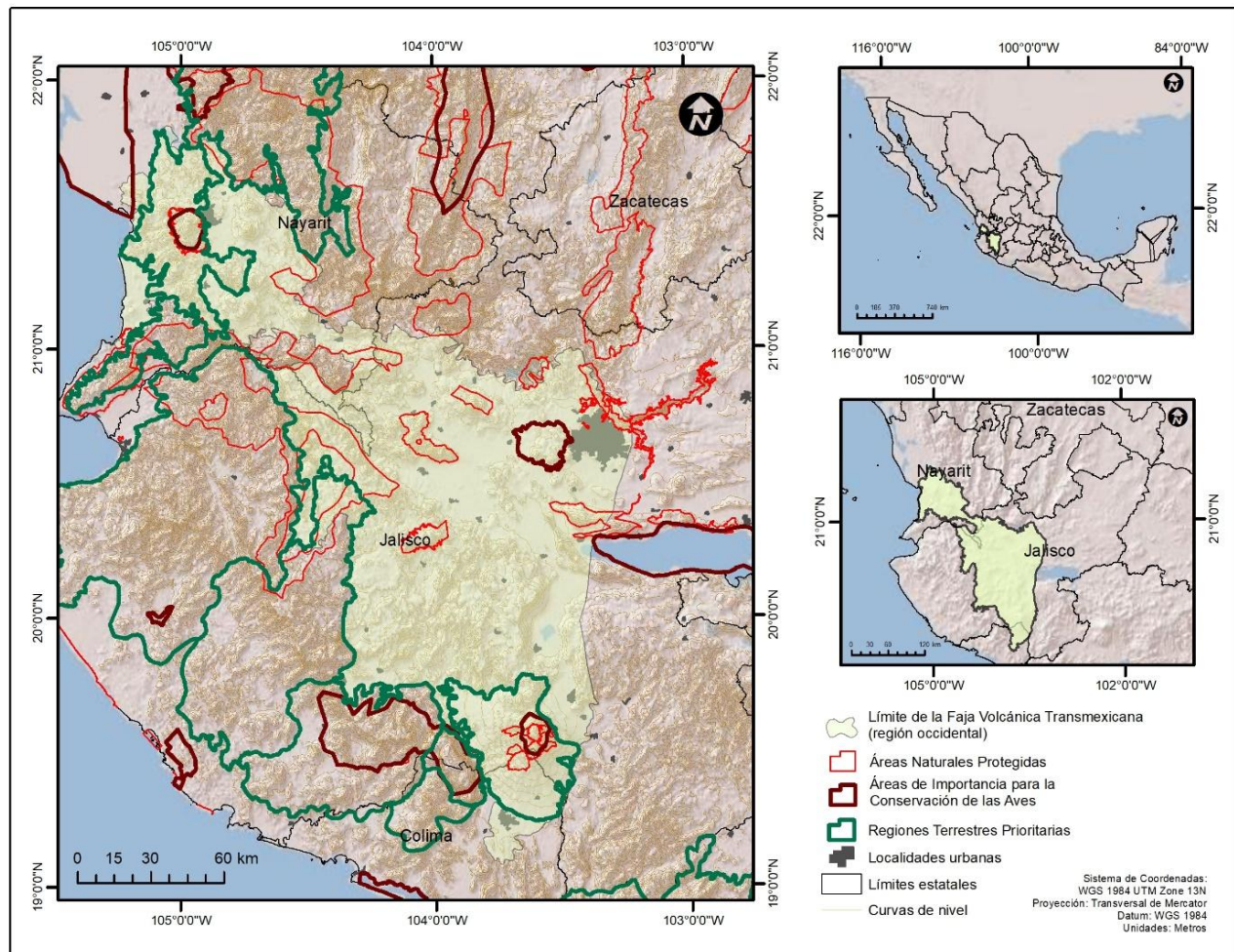


FIGURA 1. Ubicación de la región occidental de la Faja Volcánica Transmexicana.

Modelos de distribución de especies

Para modelar la distribución potencial de las 121 especies seleccionadas, se utilizó el programa MaxEnt, que trabaja con base en un algoritmo de máxima entropía (Phillips, Anderson y Schapire, 2006) y funciona bien con tamaños de muestra pequeños (Pearson, Raxworthy, Nakamura y Peterson, 2007). Para la delimitación del área de calibración de cada especie, se utilizaron las provincias biogeográficas propuestas por Morrone, Escalante y Rodríguez-Tapia (2017) y las ecorregiones propuestas por Olson *et al.* (2001) así como los factores físicos que pueden haber significado una barrera para la dispersión de las especies (Peterson *et al.*, 2000; Barve *et al.*, 2011).

Para determinar las variables climáticas a utilizar, se realizó un MDE preliminar en MaxEnt que incluyó 19 coberturas bioclimáticas con una resolución espacial de 30 grados ($\sim 1 \text{ km}^2$) derivadas de las variables de precipitación y temperatura propuestas por Cuervo-Robayo *et al.* (2013). Se seleccionaron todas las variables que mostraron 2% de contribución real al modelo de cada especie, dicha contribución de variables se obtuvo a partir de una prueba Jackknife ejecutada dentro del mismo algoritmo. Sin embargo, cuando el número de variables que cumplían este requisito era menor a cinco, se agregaron aquellas con porcentaje de contribución menor de 2% pero mayor de 1%. En todos los casos se verificó que no existiera colinealidad entre las variables seleccionadas. Para las



especies que tenían más de 20 registros, se realizaron cinco réplicas con un límite de 1000 iteraciones y se utilizó el método de remuestreo *Bootstrap*. En estos casos, 80% de los datos fueron usados para calibrar el modelo y 20% para la validación.

Para la selección del mejor modelo de entre las cinco réplicas, se utilizaron los siguientes criterios: 1) los valores más bajos de tasa de omisión de los puntos de validación, 2) los valores más altos de AUC (Area Under the Curve) y 3) la menor cantidad de área predicha (Anderson, Gómez-Laverde y Peterson, 2002). Posteriormente, cada modelo final se validó mediante la implementación de un ROC (Receiver Operating Characteristic) parcial (Barve, 2008). La curva ROC es la representación gráfica de la capacidad discriminativa de un modelo para todos sus posibles puntos de corte y requiere datos binarios (Dodd y Pepe, 2003; Mateo, Felicísimo y Muñoz, 2011). El estadístico derivado es el área bajo la curva ROC o AUC, que corresponde a la probabilidad de que, tomado al azar un par de casos, uno de presencia y otro de ausencia (o pseudoausencia), el modelo adjudique a la presencia un valor mayor de idoneidad o probabilidad, y esto para todos los posibles pares en la muestra (Mateo *et al.*, 2011). Para validar los modelos de las especies con 20 o menos registros, se utilizó la prueba Jackknife propuesta por Pearson *et al.* (2007). Una vez obtenidos los MDE para las 121 especies, se delimitó el área de distribución potencial al interior del área de estudio, a partir del recorte de los modelos resultantes y se construyó un mapa de consenso.

Análisis de conectividad

Para el análisis de conectividad se utilizó el mapa de las cubiertas vegetales que se obtuvo a partir de la agrupación de la información cartográfica de uso de suelo y vegetación del inventario nacional forestal (Serie VI) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi] (2016) a escala 1:250 000. Debido a que las especies de aves presentan cierta afinidad respecto del tipo de vegetación existente (Stotz, Fitzpatrick, Parker III y Moskovits, 1996), los distintos tipos de ecosistemas y sus diferentes variantes se

unificaron por similitud biótica en las siguientes clases: bosques templados (B), selvas (S), vegetación hidrófila (VH), pastizales (P), agricultura (A), suelo desnudo sin vegetación aparente (SD) o área urbana (AU).

Índice Integral de Conectividad

Para estimar la conectividad entre los parches de cada tipo de vegetación se utilizó el programa “Conefor sensinode 2.6” (Saura y Torné, 2009) con el cual se obtuvo un índice integral de conectividad (IIC) (Pascual-Hortal y Saura, 2006). El IIC es un índice binario que considera no solo el aspecto estructural sino también el aspecto funcional de la conectividad del paisaje, por lo que se vuelve dependiente de la capacidad de dispersión de las especies. El valor del índice se obtiene de la siguiente fórmula:

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i \cdot a_j}{1 + nl_{ij}}}{A_p^2}$$

donde:

a_i = área de cada parche forestal

A_p = área total del conjunto del paisaje

nl = número de conexiones en el camino más corto entre los parches forestales i y j

Para parches que no estén conectados el numerador de la suma de la ecuación es cero ($hij = \infty$ ij). Cuando $i = j$, entonces $nl_{ij} = 0$ (no es necesario enlace alguno para alcanzar un parche desde sí mismo) (Pascual-Hortal y Saura, 2006).

El análisis permitió identificar las áreas críticas para el mantenimiento de la conectividad entre los tipos de coberturas vegetales usadas por las especies (B, S, VH, PA y A), a partir del valor del índice de conectividad definido en la siguiente escala: Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto, Muy Alto. Se utilizó como factor de dispersión una constante lineal de 1000 m al borde más cercano del parche. De acuerdo con Borda-Niño, Hernández-Muciño y Ceccon

(2017), el valor establecido para dicha constante permite estimar el valor real de conectividad, incluso para las especies más afectadas por la discontinuidad entre los parches de vegetación, además de que, a esta distancia de dispersión, es posible que los parches cuenten con un flujo adecuado entre ellos (Nathan, 2006).

Análisis para la determinación de áreas prioritarias para la conservación

En el ámbito de la zona de estudio existen 15 ANP decretadas que se encuentran fuera o en los límites de las zonas conurbadas: cinco de carácter federal (Bosque La Primavera; Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego 043, Nayarit; El Jabalí; Sierra de Quila y Volcán de Colima), cinco de carácter estatal (Barrancas de los ríos Santiago y Verde; Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos; Sierra del Águila; Nevado de Colima y Sierra de San Juan), tres de carácter municipal (Barranca de Huentitán-Oblatos; Piedras Bola y Bosque El Nixticuil-San Esteban- El Diente) y dos más que son áreas voluntarias dedicadas a la conservación (Jalcote y Reserva Pajaritos). En total, las ANP cubren una superficie de 247 024 ha que representa 10% del área de estudio.

Para determinar las áreas prioritarias en la zona de estudio se combinó la información de los mapas resultantes de los MDE y el IIC de las cubiertas vegetales. Se consideró la información espacial sobre los polígonos de las ANP decretadas en los tres niveles de gobierno, con lo que fue posible determinar la representatividad de las ANP para las distintas especies. Para cada especie evaluada, se cuantificó el área de distribución potencial y se obtuvo el porcentaje de la distribución en relación con el área de análisis, lo que permitió identificar zonas que concentran una riqueza alta y que incluyen al menos 10% de la distribución de las especies ([Suplemento 1](#)). Todos los análisis espaciales se realizaron en el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcMap 10.3.

Con la finalidad de identificar las áreas prioritarias para la conservación de las especies, se utilizó un enfoque de complementariedad (cuando dos o más factores se

combinan) a partir de la aplicación de un procedimiento de álgebra Boleana en el SIG (Chen y Peterson, 2002; Toribio y Peterson, 2008), en este estudio se consideraron como criterios relevantes para demarcar polígonos complementarios para la red de áreas naturales protegidas 1) las zonas que albergan la mayor cantidad de especies y que, a su vez, no tuvieran representatividad al interior de las ANP, 2) las zonas que se intersecaran con áreas que presentan una alta conectividad del paisaje y/o 3) las zonas con presencia exclusiva de taxones de distribución restringida. El enfoque de complementariedad se llevó a cabo considerando todas las especies, el índice de conectividad y la representatividad en las ANP, lo que permitió identificar aquellas zonas que presentaran una elevada concentración de la riqueza de especies, altas concentraciones de endemidad y niveles altos respecto la conectividad del paisaje y que, a su vez, estuvieran excluidas de los decretos de protección.

RESULTADOS

De las 121 especies consideradas en el presente estudio, 47 (39%) presentaron al menos 10% de su distribución potencial dentro de las ANP que se encuentran al interior del área de estudio. De estas, 33 tienen afinidad a selvas, seis a pastizales, cinco a bosque templados y tres a ecosistemas hidrófilos. Si se considera la totalidad del área de distribución potencial estimada por los MDE, solo una especie no cuenta con área de distribución al interior de ningún polígono de las ANP existentes (*Cynanthus doubledayi*). El mapa de consenso muestra una concentración mayor de especies en las zonas tropicales, con una marcada disminución en áreas donde existen bosques templados y zonas agrícolas (Fig. 2).

De las especies con baja representatividad de su área de distribución potencial (< 10%) en las ANP del área de estudio, 36 son endémicas a México, 22 tienen una categoría de riesgo asignada por la NOM-059-SEMARNAT-2010 y cinco son prioritarias de conservación. Sólo dos de las especies anteriores (*Amazona finschi* y *Cyanocorax beecheii*) cuentan con las tres características listadas.

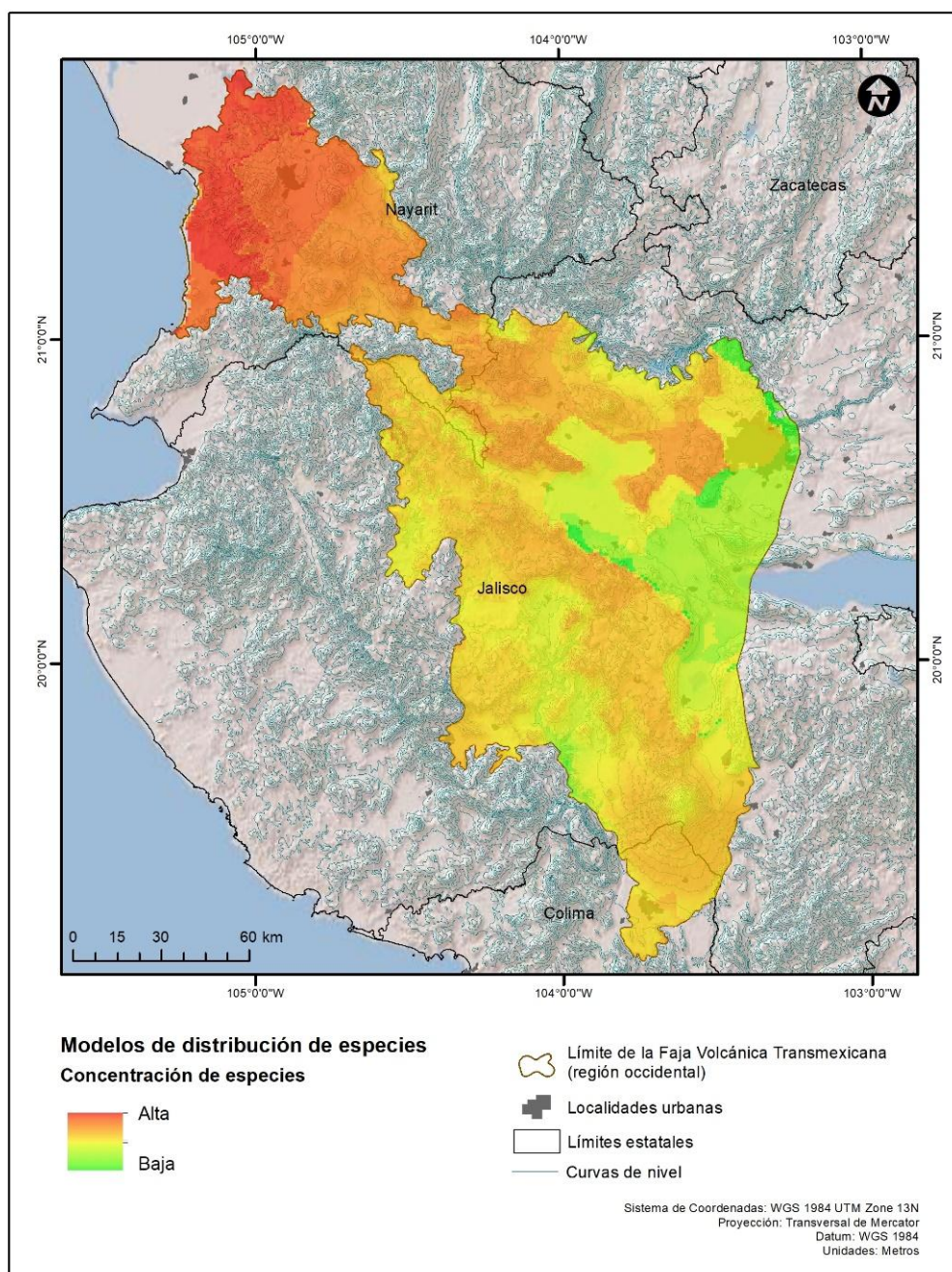


FIGURA 2. Mapa de consenso de los modelos de distribución de especies para las aves de interés en la región occidental de la Faja Volcánica Transmexicana.

En lo que se refiere al IIC las superficies de cubiertas vegetales que resultaron con menor conectividad entre los distintos tipos de vegetación se concentran en la sección noroeste del área de estudio, en el estado de Nayarit (Fig. 3). Estas zonas están dominadas por ecosistemas tropicales

hacia la costa y templados adentrándose hacia el centro y este del área de estudio. La región centro del área de estudio, ubicada en el estado de Jalisco, muestra una alta conectividad entre los parches de los distintos tipos de vegetación.

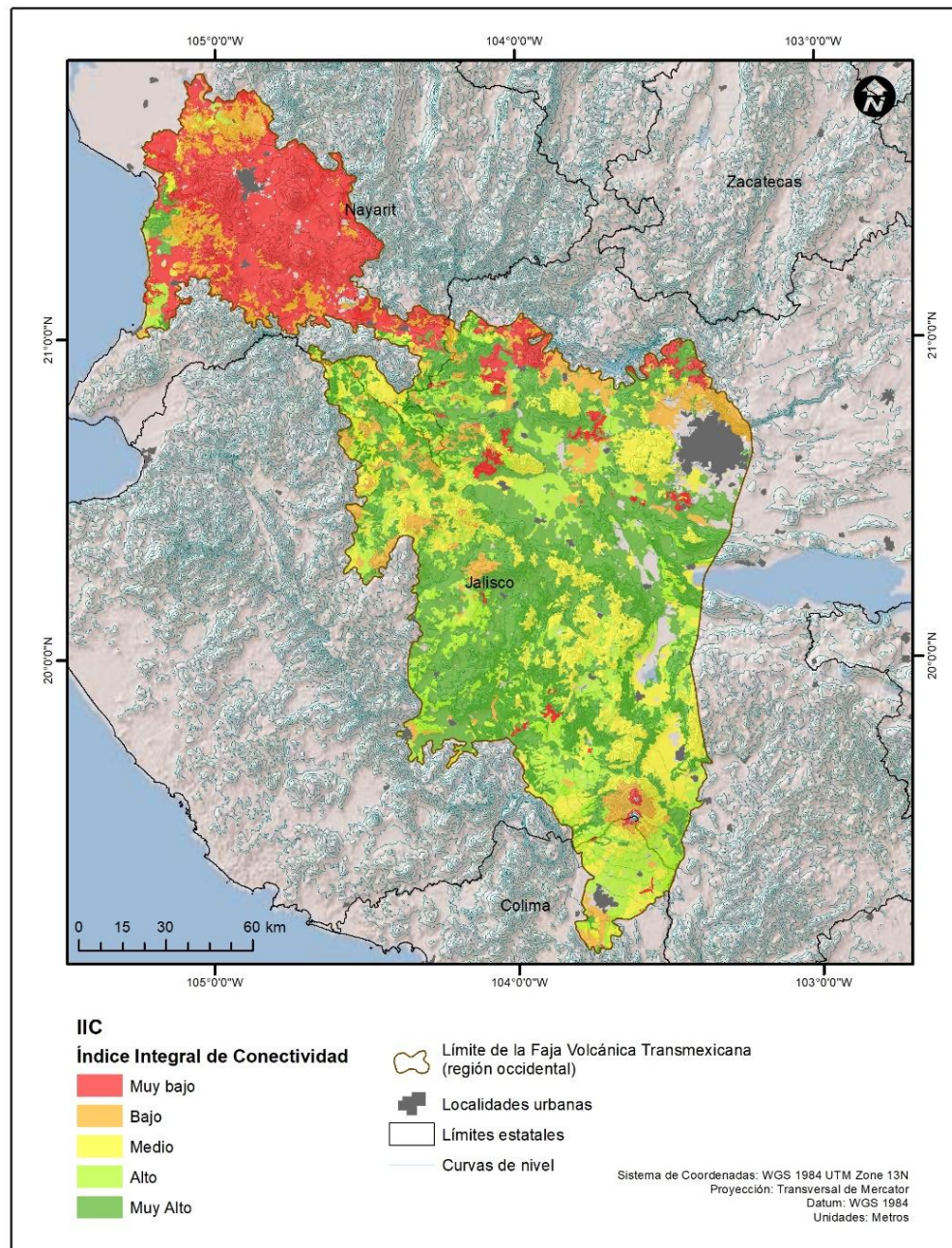


FIGURA 3. Conectividad del paisaje en la región occidental de la Faja Volcánica Transmexicana.

Se identificaron tres áreas potenciales para ser consideradas como prioritarias de conservación. La primera de las áreas propuestas se localiza en la región noroeste del área de estudio (Sector A) y está dominada por vegetación secundaria arbustiva y arbórea de selva mediana subcaducifolia y subperennifolia (Fig. 4). Esta se encuentra rodeada por parches de agricultura de temporal y

asentamientos urbanos (San Blas, Santa Cruz de Miramar, Tecuitata y Aticama), la conectividad predominante en este sector es alta (4) y muy alta (5) tanto en los parches internos del área de estudio como con aquellos que la circundan y provee de hábitats para albergar 87 de las especies lo que representa 71% de las seleccionadas para el presente estudio.

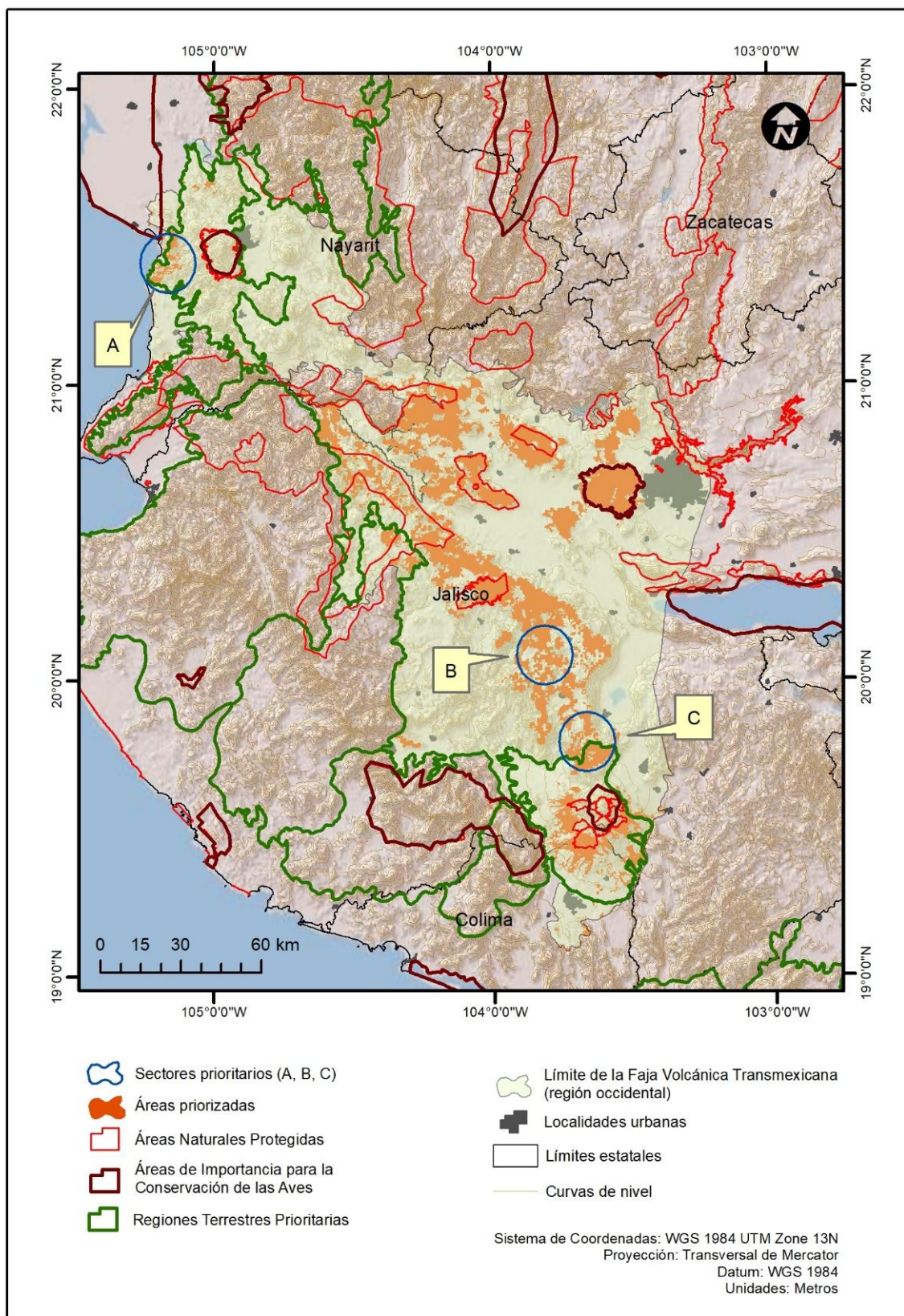


FIGURA 4. Áreas prioritarias para la conservación de aves de interés en la región occidental de la Faja Volcánica Transmexicana.

La segunda área (Sector B) se localiza en el centro-este del área de estudio, que en su extremo noreste abarca secciones de la sierra de Atemajac de Brizuela y se caracteriza por la presencia de bosque de pino, encino-pino y bosque de encino, mientras que al suroeste continúa por la denominada “Sierra de Tapalpa” en la sección cercana al poblado de Chiquilistlán (Fig. 4). La conectividad en el centro del sector es muy alta, con áreas circundantes de conectividad media y la presencia de 67 especies de aves con distribución potencial en el sector. En relación con las ANP más cercanas se localiza en un punto intermedio entre Sierra de Quila y El Nevado de Colima.

La tercer área (Sector C) se localiza en el sureste del área de estudio, limitado por las localidades de Sayula y San Gabriel (Fig. 4). Este se compone por un mosaico de vegetación tropical y bosques templados. El índice de conectividad al interior del sector muestra una conectividad media y alta, entre los parches de las distintas cubiertas de vegetación. Incluye secciones de la sierra de San Gabriel que se caracteriza por la presencia de bosque de pino,

encino-pino y encino, mientras que hacia el noreste colinda con la localidad de Sayula.

A partir de las áreas resultantes como prioritarias para su conservación y tomando en consideración las ANP de la zona de estudio, 112 especies tendrían cubierto al menos 10% de su distribución al interior del área de estudio y únicamente 10 especies no alcanzarían la meta establecida (Tabla 1).

DISCUSIÓN

Las áreas determinadas como prioritarias para la conservación de las aves en el presente trabajo coincidieron con varias de las ANP existentes en la región estudiada, además de destacar las zonas que podrían constituir vacíos u omisiones en la red de ANP. Lo que indica que el uso de los modelos de distribución de especies y los análisis de conectividad de paisaje, son pertinentes como herramientas analíticas sólidas de apoyo a los protocolos de planificación sistemática para la conservación (Peterson *et al.*, 2000; Ferrier, 2002; Margules y Sarkar, 2007; Margules y Sarkar, 2009; Lechner *et al.*, 2017).

TABLA 1. Especies consideradas en el estudio que no alcanzaron la meta de conservación del 10% de su área de distribución al interior de alguna de las ANP de la región occidental de la Faja Volcánica Transmexicana.

| Especie | Afinidad | % ANP inicial | % ANP final | NOM | PC | END |
|----------------------------------|----------|---------------|-------------|-----|----|-----|
| <i>Cynanthus doubledayi</i> | TRO | 0.00 | 0.00 | No | No | Si |
| <i>Falco peregrinus</i> | PAS | 2.35 | 7.47 | Pr | No | No |
| <i>Amazona albifrons</i> | TRO | 2.24 | 9.45 | Pr | Si | No |
| <i>Amazona oratrix</i> | TRO | 3.76 | 9.80 | P | Si | No |
| <i>Tityra griseiceps</i> | TRO | 6.16 | 9.73 | No | No | Si |
| <i>Deltarhynchus flammulatus</i> | TRO | 6.18 | 9.76 | Pr | No | Si |
| <i>Campylorhynchus humilis</i> | TRO | 0.04 | 1.47 | No | No | Si |
| <i>Geothlypis chapalensis</i> | RIP | 2.15 | 2.15 | No | No | Si |
| <i>Geothlypis melanops</i> | RIP | 6.21 | 6.21 | No | No | Si |
| <i>Passerina leclancherii</i> | TRO | 4.02 | 9.33 | No | No | Si |



En los últimos años se han realizado esfuerzos en México para priorizar las áreas donde, se sabe, existen vacíos u omisiones en la representación de las especies de interés para la conservación (p. ej. endémicas, raras, en categoría de riesgo), entre los que se destacan los trabajos de Illordi-Rangel, *et al.*, (2008) y Monroy-Gamboa, Briones-Salas, Sarkar y Sánchez-Cordero (2019) para el estado de Oaxaca; el de Martínez-Cruz e Ibarra-Manríquez (2012) para el estado de Colima, así como los de Koleff y Urquiza-Haas (2011) y Sánchez-Cordero *et al.*, (2012) con una perspectiva nacional, entre otros; a partir de los cuales ha sido posible direccionar los esfuerzos de conservación a nivel estatal, regional y nacional.

A pesar de que la FVT cuenta con una representación de las ANP por encima de la media nacional (>10%) (Cantú-Ayala, Estrada-Arellano, Salinas-Rodríguez, Marmolejo-Monsivais y Estrada-Castillón, 2013), la gran mayoría se localizan en un conjunto de cordilleras y volcanes con cotas altitudinales elevadas en el extremo occidental, lo que confiere poca representatividad de áreas con influencia tropical (Arriola-Padilla, Estrada-Martínez, Ortega-Rubio, Pérez-Miranda y Gijón-Hernández, 2014), lo anterior, evidencia una necesidad en la protección de estos hábitats en la región occidental de la FVT.

En este sentido, el área propuesta en el noroeste (Sector A), cumple con las características faltantes en la correspondiente región fisiográfica, pues se encuentra conformada, en su mayoría, por vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia, con algunos relictos de vegetación primaria de este tipo de vegetación (Inegi, 2016). Este polígono está rodeado por grandes extensiones de sistemas agropecuarios, dada la tendencia de expansión de este tipo de actividades en la zona y, en general, en el país (Oliver y Morecroft, 2014). La presencia de grandes extensiones de vegetación secundaria en este sector, pueden ser el resultado de la alteración de la vegetación primaria original (Vázquez-Cuevas y Roldán-Aragón, 2010; Rosete-Vergés *et al.*, 2014) por lo que se puede suponer, que estos parches se encuentran en proceso de fragmentación, lo que pudiera conducir a su pérdida o degradación a corto plazo (Conabio, Comisión Nacional de Áreas Naturales

Protegidas [Conanp], The Nature Conservancy - Programa México [TNC] y Pronatura, 2007).

Aunado a lo anterior, el reconocimiento de esta área como prioritaria para la conservación puede ayudar a salvaguardar la conectividad entre las ANP decretadas actualmente, como son el Distrito Nacional de Riego 043, Chamela Cuixmala, Reserva Pajaritos y El Jalcote. Esta red de ANP conservaría el hábitat (sitios de anidación, descanso y protección además de alimento) de 87 especies de aves de las 121 consideradas. Esto incluye hábitats críticos para la supervivencia de taxones con distribución restringida (*Phaetornis mexicanus* y *Thalurania ridgwayi*), en peligro de extinción (*Amazona finschi*, *A. oratrix*, *Cyanocorax beecheii*) y que, a su vez, cuentan con una baja representatividad en las áreas naturales protegidas del área de estudio ya que exhiben afinidad tropical.

Las áreas prioritarias definidas como sectores B y C, constituyen, en conjunto, áreas potenciales para la distribución de 75 especies. Si bien, ambas poseen una alta similitud en cuanto a la composición de especies y tipos de vegetación dominantes, el sector C se localiza en un área importante para un conjunto adicional de especies como *Dendrotyx macroura*, *Catharus frantzii* y *Leiothlypis crissalis*. La consideración de ambos sectores aumentaría el área de protección de algunas especies endémicas y/o amenazadas de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010) como *Aquila chrysaetos*, *Forpus cyanopygius* y *Streptoprogne semicollaris*. Adicionalmente, estos sectores se localizan en un punto intermedio entre las ANP de Sierra de Quila, Cerro Viejo y el Nevado de Colima (en el área de estudio) y la Sierra de Manantlán en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, con lo que se aseguraría la conectividad de los ecosistemas entre ambas regiones fisiográficas.

Algunos autores sugieren que una manera de contrarrestar los problemas que surgen de la fragmentación incluye: ampliar el área de los hábitats protegidos y fomentar mecanismos que promuevan la conectividad al contrarrestar el efecto de aislamiento de los elementos de hábitat (Fahrig, 2003), por lo que considerar la inclusión de estas áreas en la red de ANP, pudiera favorecer el mantenimiento de la conectividad del paisaje y permitiría

asegurar la continuidad biótica entre las áreas con decreto actual en la FVT a largo plazo (Sánchez-Cordero, Cirelli, Munguía y Sarkar, 2005), pues, a pesar de contar con varias ANP en esta región, no existe continuidad entre algunas de ellas (Cantú-Ayala *et al.*, 2013).

Por otro lado, es necesario analizar los casos de especies que no resultaron representadas en las áreas definidas como prioritarias como es el caso de la especie *Cynanthus doubledayi* que quedó desligada de los sectores A, B y C propuestos como prioritarios para la conservación de la avifauna de la FVT. Esto se debe a que dicho taxón, podría presentar en el área de estudio los límites de su distribución potencial. Este caso en particular resalta la necesidad de la unificación de análisis en la intersección de las provincias fisiográficas del Eje Volcánico Transversal y la Sierra Madre del Sur con la finalidad de interconectar las ANP existentes en ambos complejos.

Es necesario señalar que, en el proceso de priorización de áreas, no se destacaron los ecosistemas compuestos por hábitats hidrófilos, presentes en el área de estudio en las inmediaciones de las lagunas de Sayula y Atotonilco. En estos sitios es posible encontrar especies con distribuciones restringidas, que pueden no ocurrir en áreas de alta riqueza de especies, tal es el caso de *Geothlypis modesta*, *G. chapalensis* y *G. melanops* que potencialmente presentan los límites de su área de distribución en las zonas aledañas a los vasos lacustres de la zona estudiada (Navarro-Sigüenza y Peterson, 2004). Lo anterior, confirma que en ocasiones es necesario enfocar las acciones de conservación hacia la protección de especies particulares (Scott *et al.*, 2001). Estas son especies asociadas fuertemente a las zonas ribereñas (Stotz *et al.*, 1996), por lo que la fragmentación de las superficies que presentan macizos con vegetación hidrófila pudiera desencadenar la pérdida de sus áreas de distribución. La existencia de pequeñas franjas con relictos de vegetación hidrófila colindantes a las zonas urbanas, agrícolas y pecuarias, de las localidades de Atotonilco el Alto, Villa Corona y Sayula, requieren también, de acciones de conservación de los ecosistemas riparios que ahí persisten para el sostenimiento de especies hábitat específicos. Debido a su cercanía a cuerpos de agua, estos

ecosistemas se han visto afectados por procesos de cambio en el uso de suelo, dada la demanda de tierras para agricultura de riego y otras actividades productivas, que han inducido la fragmentación y pérdida de conectividad, además de alterar la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Carabias, de la Maza y Provencio, 2008; Von Bertrab, 2011).

La pérdida de conectividad de los ecosistemas por la expansión de las actividades humanas influye sobre la viabilidad de las poblaciones de especies que los habitan (Santos y Tellería, 2006), por lo que los resultados de este trabajo pueden complementar las estrategias para la conservación en la región occidental de la FVT una vez que sean integrados con estudios técnicos que forman parte de los insumos justificativos para el establecimiento de las ANP.

A pesar de que las capas de información de uso de suelo y vegetación del Inegi han sido ampliamente utilizadas como una fuente cartográfica válida para estudios e investigaciones desarrollados a escala regional y nacional (Velázquez *et al.*, 2002; Mas *et al.*, 2004; Pérez-Vega, Mas y Ligmann-Zielinska, 2012), se reconoce la posible existencia de errores en la interpretación y clasificación de la información usada como fuente, por lo que es necesario hacer verificaciones subsecuentes en campo y explorar mecanismos para atender los problemas relacionados con la pérdida de información debido a la agregación de las cubiertas de vegetación para el análisis (Velázquez *et al.*, 2002).

La información generada es útil para seleccionar sitios para la conservación, pues en su conjunto, brinda argumentos adicionales con mejores fundamentos ecológicos y biogeográficos para los tomadores de decisiones (Verissimo *et al.*, 2011; Ochoa-Ochoa *et al.*, 2017).

CONCLUSIONES

El estudio permitió identificar un conjunto de áreas que deberían ser consideradas como prioritarias para la conservación de las aves en la región occidental de la FVT. La inclusión de los sitios definidos en la red de ANP podría



favorecer la supervivencia de un alto porcentaje de especies endémicas y en categoría de riesgo, con alta vulnerabilidad ecológica, que no se encuentran adecuadamente representadas en las ANP de la región. Además, garantizaría el mantenimiento de la conectividad de los hábitats donde se distribuyen estas especies actualmente.

La identificación de áreas prioritarias para la conservación a partir de taxones usados como subrogados de la biodiversidad, constituye un primer paso para definir, de forma precisa, polígonos de áreas que eventualmente cuenten con protección oficial. Las áreas propuestas, incrementarían sustancialmente el nivel de protección para la avifauna y la biodiversidad regional, por lo que se recomienda continuar con los estudios técnicos justificativos que permitan la definición legal de los sitios propuestos como áreas de conservación, para avanzar en la protección de la biodiversidad regional.

RECONOCIMIENTOS

A la Universidad de Guadalajara por medio del programa de Maestría en Ciencias en Biosistemática y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas (Bimarena) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por la beca 484751. Al equipo de trabajo de Ana Luisa Santiago Pérez por la facilitar la adquisición y el uso de datos de campo puntuales.

REFERENCIAS

- Álvarez, E., & Morrone, J. J. (2004). Propuesta de áreas para conservación de aves terrestres de México, empleando herramientas panbiogeográficas e índices de complementariedad. *Interciencia*, 29(3), 112-120.
- Anderson, R. P., Gómez-Laverde, M., & Peterson, A. T. (2002). Geographical distributions of spiny pocket mice in South America: insights from predictive models. *Global Ecology and Biogeography*, 11(2), 131-141. doi: 10.1046/j.1466-822X.2002.00275.x
- Arriaga-Cabrera, L., Espinoza-Rodríguez, J. M., Aguilar-Zúñiga, C., Martínez-Romero, E., Gómez-Mendoza, L., & Loa-Loza, E. (Cords). (2000). *Regiones Terrestres Prioritarias de México*. D.F., México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio].
- Arriola-Padilla, V. J., Estrada-Martínez, E., Ortega-Rubio, A., Pérez Miranda R., & Gijón Hernández, A. R. (2014). Deterioro en áreas naturales protegidas del centro de México y del Eje Neovolcánico Transversal. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 60(1), 37-49.
- Arizmendi, M. C., & Márquez V. L. (2000). *Áreas de Importancia para la conservación de las Aves de México*. D.F., México: Sociedad para el Estudio y Conservación de las Aves en México [Cipamex].
- Barve, N. (2008). Tool for partial-ROC, V.1.0. Lawrence, Estados Unidos: Biodiversity Institute.
- Barve, N., Barve, V., Jiménez-Valverde, A., Lira-Noriega, A., Maher, S. P., Peterson, A. T., Soberón, J., & Villalobos, F. (2011). The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling*, 222(11), 1810-1819. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2011.02.011
- Berlanga, H., Gómez de Silva, H., Vargas-Canales, V. M., Rodríguez-Contreras, V., Sánchez-González, L. A., Ortega-Álvarez, R., & Calderón-Parra, R. (2017). *Aves de México: Lista actualizada de especies y nombres comunes*. D.F., México: Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad [Conabio].
- Borda-Niño, M., Hernández-Muciño, D., & Ceccon, E. (2017). Planning restoration in human-modified landscapes: New insights linking different scales. *Applied Geography*, 83(1), 118-129. doi: 10.1016/j.apgeog.2017.03.012
- Cantú-Ayala, C., Estrada-Arellano, J. R., Salinas-Rodríguez, M. M., Marmolejo-Moncivais, J. G., & Estrada-Castillón, E. A. (2013). Vacíos y omisiones en conservación de las ecorregiones de montaña en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(17), 10-27. doi: 10.29298/rmcf.v4i17.417
- Carabias, J., de la Maza, J., & Provencio, E. (2008). Evolución de enfoques y tendencias en torno a la conservación y el uso de la biodiversidad, en *Capital natural de México, vol. III: Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad*. D.F., México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio].
- Ceballos, G. (2007). Conservation priorities for mammals in megadiverse Mexico: the efficiency of reserve networks. *Ecological Applications*, 17(2), 569-578. doi: 10.1890/06-0134
- Chen, G., & Peterson, A. T. (2002). Prioritization of areas in China for the conservation of endangered birds using modelled geographical distributions. *Bird Conservation International*, 12(3), 197-209. doi: 10.1017/S0959270902002125
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio]. (2018). *Naturalista*. Recuperado de <http://www.naturalista.mx>

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio], Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [Conanp], The Nature Conservancy - Programa México [TNC] & Pronatura (2007). *Sitios prioritarios terrestres para la conservación de la biodiversidad. Escala 1: 1 000 000*. D.F., México: Conabio.
- Cuervo-Robayo A. P., Téllez-Valdés, O., Gómez, M., Venegas-Barrera, C., Manjarrez, J., & Martínez-Meyer, E. (2013). An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology*, 34(7), 2427-2437. doi: 10.1002/joc.3848
- Diario Oficial de la Federación [DOF] (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo*. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019
- Diario Oficial de la Federación [DOF] (2014). *Acuerdo por el que se da a conocer la lista de especies y poblaciones prioritarias para la conservación*. Recuperado de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5334865&fecha=05/03/2014
- Dood, L. E., & Pepe, M. S. (2003). Partial AUC estimation and regression. *Biometrics*, 59(3), 614-623. doi: 10.1111/1541-0420.00071
- eBird (2018). *eBird: Una base de datos en línea para la abundancia y distribución de las aves*. eBird, Nueva York, Estados Unidos. Recuperado de <http://www.ebird.org>
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Duík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McC. Overton, J., Peterson, A. T., Phillips, S. J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M. S., & Zimmermann, E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151. doi: 10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x
- Escalante, P., Navarro-Sigüenza, A. G., & Peterson, A. T. (1993). A geographic, ecological and historical analysis of the land bird diversity in Mexico. En T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (Eds.), *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution* (pp. 281-307). Nueva York, Estados Unidos: Oxford University Press.
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 34(1), 487-515. doi:10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419
- Ferrari, L., Orozco-Esquivel, T., Manca, V., & Manca, M. (2012). The Dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico Subduction zone. *Tectonophysics*, 522-523(1), 122-149. doi: 10.1016/j.tecto.2011.09.018
- Ferrier, S. (2002). Mapping spatial pattern in biodiversity for regional conservation planning: Where to from here? *Systematic Biology*, 51(2), 331-363. doi: 10.1080/10635150252899806
- García-Trejo, E. A., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2004). Patrones biogeográficos de la riqueza de especies y el endemismo de la avifauna en el oeste de México. *Acta Zoológica Mexicana*, 20(2), 167-185.
- Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8(9), 993-1009. doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x
- Illoldi-Rangel, P., Fuller, T., Linaje, M., Pappas, C., Sánchez-Cordero, V., & Sarkar, S. (2008). Solving the maximum representation problem to prioritize areas for the conservation of terrestrial mammals at risk in Oaxaca. *Diversity and Distributions*, 14(3), 493-508. doi: 10.1111/j.1472-4642.2007.00458.x
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (2016). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000, Serie VI*. Inegi
- Kattan, G. (2002). Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. En M. Guariguata & G. Kattan (Eds.), *Ecología y conservación de bosques neotropicales* (pp. 560-590). Cartago, Costa Rica: Ediciones IUR.
- Koleff, P., & Urquiza-Haas, T. (2011). Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: retos en un país megadiverso. Distrito Federal, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio], Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [Conanp].
- Leader-Williams N., & Dublin, H. T. (2000). Charismatic megafauna as 'flagship species'. En A. Entwistle & N. Dunstone (Eds.), *Priorities for the conservation of mammalian diversity: has the panda had its day?* (pp. 53- 84). Nueva York, Estados Unidos: Cambridge University Press.
- Lechner, A. M., Sprod, D., Carter, O., & Lefroy, E. C. (2017). Characterising landscape connectivity for conservation planning using a dispersal guild approach. *Landscape Ecology*, 32(1), 99-113. doi: 10.1007/s10980-016-0431-5
- Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P., & Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria*, 25(2), 3-19. doi: 10.15174/au.2014.690
- Margules, C. R., & Sarkar, S. (2007). Systematic conservation planning. Cambridge, England: Cambridge University Press.



- Margules, C. R., & Sarkar, S. (2009). Planeación sistemática de la conservación (Trad. V. S. Sánchez-Cordero & F. Figueroa). D.F., México: Universidad Autónoma de México [UNAM], Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [Conanp] & Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio].
- Martínez-Cruz, J., & Ibarra-Manríquez, G. (2012). Áreas prioritarias de conservación para la flora leñosa del estado de Colima, México. *Acta Botánica Mexicana* 99, 31-53. doi: 10.21829/abm99.2012.18
- Mas, J. F., Velázquez, A., Díaz-Gallegos, R. J., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, C., Bocco, G., Castro, R., Fernández, T., & Pérez-Vega, A. (2004). Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(4), 249-261. doi: 10.1016/j.jag.2004.06.002
- Morrone, J. J., Escalante, T., & Rodríguez-Tapia, G. 2017. Mexican biogeographic provinces: Map and shapefiles. *Zootaxa*, 4277(2), 277-279. Doi: 10.11646/zootaxa.4277.2.8
- Mateo, R. G., Felicísimo, A. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84, 217-240.
- Monroy-Gamboa, A. G., Briones-Salas, M. A., Sarkar, S., & Sánchez-Cordero, V. (2019). Terrestrial vertebrates as surrogates for selecting conservation areas in a biodiversity hotspot in Mexico. *Conservation Science and Practice*, 1, e12. doi: 10.1111/csp.212
- Nathan, R. (2006). Long-distance dispersal of plants. *Science*, 313(5788), 786-788. doi: 10.1126/science.1124975
- Navarro-Sigüenza, A.G., Lira-Noriega, A., Peterson, A. T., Oliveras de Ita, A., & Gordillo-Martínez, A. (2007). Diversidad, endemismo y conservación de las aves. En I. Luna, J. J. Morne & D. Espinosa (Eds.), *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana* (pp. 461-483). D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM].
- Navarro-Sigüenza, A. G., Peterson, A. T., & Gordillo-Martínez, A. (2003). Museums working together: The atlas of the birds of Mexico. En N. Collar, C. Fisher & C. Feare (Eds.), *Why museums matter: avian archives in an age of extinction*, Bulletin British Ornithologists' Club, Supplement 123A. 207-225.
- Navarro-Sigüenza, A. G & Peterson, A. T. (2004). An alternative species taxonomy of the birds of Mexico. *Biota Neotropica*, 4(2), 1-32. doi:10.1590/S1676-06032004000200013
- Ochoa-Ochoa, L. M., Mesía-Domínguez, N. R., & Bezaury-Creel, J. (2017). Priorización para la conservación de los Bosques de niebla en México. *Ecosistemas*, 26(2), 27-37. doi: 10.7818/ECOS.2017.26-2.04
- Oliver, T. H., & Morecroft, M. D. (2014). Interactions between climate change and land use change on biodiversity: attribution problems, risks, and opportunities. *EIREs Climate Change*, 5(3), 317-235. doi: 10.1002/wcc.271
- Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V. N., Underwood, E. C., D'Amico, J. A., Itoua, I., Strand, H. E., Morrison, J. C., Loucks, C. J., Allnutt, T. F., Ricketts, T. H., Kura, Y., Lamoreux, J. F., Wettengel, W. W., Hedao, P., & Kassem, K. R. (2001). Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth. *BioScience*, 51(11), 933-933. doi: 10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2
- Pascual-Hortal, L., & Saura, S. (2006). Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology*, 21(7), 959-967. doi: 10.1007/s10980-006-0013-z
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., & Peterson, A. T. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34(1), 102-117. doi: 10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x
- Pérez-Vega, A., Mas, J. F., & Ligmann-Zielinska, A. (2012). Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest. *Environmental Modelling & Software*, 29(1), 11-23. doi: 10.1016/j.envsoft.2011.09.011
- Peterson, A. T., & Navarro-Sigüenza, A. G. (1999). Alternate Species Concepts as bases for determining priority conservation areas. *Conservation Biology*, 13(2), 427-431. doi: 10.1046/j.1523-1739.1999.013002427.x
- Peterson, A. T., Egbert, S. L., Sánchez-Cordero, V., & Price, K. (2000). Geographic analysis of conservation priority: endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. *Biological Conservation*, 93(1), 85-94. doi: 10.1016/S0006-3207(99)00074-9
- Phillips, S. J., Anderson, P., & Schapire, E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 231-259. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026
- Primack, R., Rozzi, R., Feinsinger, P., Dirzo, R., & Massardo, F. (2001). *Fundamentos de conservación biológica: perspectivas latinoamericanas*. D.F., México: Fondo de Cultura Económica.
- Richards, L.; Carstens, B. C., & Knowles, L. L. (2007). Distribution modelling and statistical phylogeography: an integrative framework for generating and testing alternative biogeographical hypotheses. *Journal of Biogeography*, 34(11), 1833-1845. doi: 10.1111/j.1365-2699.2007.01814.x

- Rosete-Vergés, F. A., Pérez-Damián, J. L., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E. N., Salinas-Chávez, E. y Remond-Noa, R. (2014). El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y Bosques*, 20(1), 21-35. doi: 10.21829/myb.2014.201173
- Sánchez-Cordero, V., Cirelli, V., Munguía, M., & Sarkar, S. (2005). Place prioritization for biodiversity representation using species' ecological niche modeling. *Biodiversity Informatics*, 2(1), 11-23. doi: 10.17161/bi.v2i0.9
- Sánchez-Cordero, V., Figueroa, F., Illoldi-Rangel, P., & Linaje, M. (2009). Efectividad de las áreas naturales protegidas en México. En Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad [Conabio] (Ed.), *Capital Natural de México Estado de conservación y tendencias de cambio, Vol. II*, (pp. 394-397). Distrito Federal, México.
- Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, P., & Linaje, M. (2012). *Identificación de áreas prioritarias para la conservación y su conectividad bajo diferentes escenarios de cambio climático: base para el diseño de áreas naturales protegidas*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/168021/2012_identific_areas_prioritarias_cc.pdf
- Santos, T., & Tellería, J. L. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas*, 15(2), 3-12.
- Saura, S., & Torné, J. (2009). Conefor Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modelling & Software*, 24(1), 135-139. doi: 10.1016/j.envsoft.2008.05.005
- Scott, J. M., Davis, F. W., MacGhie, R. G., Wright, R. G., Groves, C., & Estes, J. (2001). Nature Reserves: Do they capture the full range of America's biological diversity? *Ecological Applications*, 11(4), 999-1007. doi: 10.2307/3061007
- Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas [Sinap]. (2019). Recuperado de <https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-areas-protegidas-sinap>
- Stotz, D. F., Fitzpatrick, J. W., Parker III, T. A., & Moskovits, D. K. (1996). *Neotropical Birds Ecology and Conservation*. London, Reino Unido: The University of Chicago Press.
- Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O., & Martínez-Meyer, E. (2014). Dominios climáticos de las áreas naturales protegidas del eje volcánico transversal de México. *GeoFocus*, 14 (1): 120-143.
- Toribio, M., & Peterson, A. T. (2008). Prioritization of Mexican lowland rain forests for conservation using modelled geographic distributions of birds. *Journal of Nature Conservation*, 16(2), 109-116. doi: 10.1016/j.jnc.2008.01.001
- Vázquez-Cuevas, G. M., & Roldán-Aragón, I. E. (2010). Evaluación de los cambios de cobertura del suelo en la reserva de la biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo México (1973-2006). *Papeles de Geografía*, 51-52(1), 307-316.
- Velázquez, A., Mas, J. F., Díaz, G. J., Mayorga, S. R., Alcántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra E., & Palacio J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México, *Gaceta Ecológica*, 62, 21-37.
- Verissimo D., MacMillan, D. C., & Smith, R. J. (2011). Toward a systematic approach for identifying conservation flagships. *Conservation Letters*, 4(1), 1-8. doi: 10.1111/j.1755-263X.2010.00151.x
- Villavicencio-García, R., Ávila-Coria, R., Guerrero, S., Santiago-Pérez A. L., & Treviño-Garza, E. (2017). Conectividad del hábitat forestal de las áreas protegidas para el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en el estado de Jalisco, México. *Áreas Naturales Protegidas Scripta*, 3(2), 9-31. doi: 10.18242/anpscripta.2017.03.03.02.0001
- Villavicencio-García, R., Saura-Martínez de Toda, S., Santiago-Pérez, A. L., & Chávez-Hernández, A. (2009). La conectividad forestal de las áreas naturales protegidas del estado de Jalisco con otros ambientes naturales, *Scientia-CUCBA*, 11(1-2), 43-50.
- Von Bertrab, E. (2011). Guadalajara's water crisis and the fade of Lake Chapala: A reflection of poor water management in Mexico. *Environment and Urbanization*, 18(2), 127-140. doi: 10.1630/095624703101286781
- Williams, P., Gibbons, D., Margules, C., Rebelo, A., Humphries, C., & Pressey, R. (1996). A comparison of richness hotspots, rarity hotspots, and complementary areas for conserving diversity of British birds. *Conservation Biology*, 10(1), 155-174. doi: 10.1046/j.1523-1739.1996.10010155.x
- Yañez-Arenas, C., Martínez-Meyer, E., Mandujano, S., & Rojas-Soto, O. (2012). Modelling geographic patterns of population density of the white-tailed deer in central Mexico by implementing ecological niche theory. *Oikos*, 121(12), 2081-2089. doi: 10.1111/j.1600-0706.2012.20350.x

Manuscrito recibido el 26 de mayo de 2020

Aceptado el 14 de septiembre de 2020

Publicado el 22 de diciembre de 2021



Este documento se debe citar como:

Galindo-Cruz, A., Rosas-Espinoza, C. C., Vásquez-Bolaños, M., & Sahagún-Sánchez, F. J. (2021). Priorización de áreas para la conservación de aves en el occidente de la Faja Volcánica Transmexicana. *Madera y Bosques*, 27(2), e2722175. doi: 10.21829/myb.2021.2722175



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.