

Distribución geográfica y hábitat de la familia Trochilidae (Aves) en el estado de Guerrero, México

Pablo Sierra-Morales¹, R. Carlos Almazán-Núñez¹, Elizabeth Beltrán-Sánchez², César A. Ríos-Muñoz³ & María del Coro Arizmendi⁴

1. Laboratorio Integral de Fauna Silvestre, Unidad Académica de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Guerrero. Av. Lázaro Cárdenas s/n, Ciudad Universitaria, Chilpancingo, Guerrero, 39000, México; sierra02pix@hotmail.com, oikos79@yahoo.com.mx
2. Instituto de Investigación Científica Área Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Guerrero. Av. Lázaro Cárdenas s/n, Ciudad Universitaria, Chilpancingo, Guerrero, 39000, México; elizabeltran@yahoo.com.mx
3. Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera", Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 04510, México; cesar.rios@unam.mx
4. Laboratorio de Ecología, Unidad de Biotecnología y Prototipos, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 05490, México; coro@unam.mx

Recibido 02-II-2015. Corregido 23-VII-2015. Aceptado 25-VIII-2015.

Abstract: Geographical distribution and habitat of Trochilidae (Aves) in the state of Guerrero, Mexico.

The distribution and abundance of species of Trochilidae family is usually influenced by the flowering and phenology of plants used as a feeding source, mainly in primary forest, so that changes in vegetation cover could impact their populations. We analyzed and characterized the geographical distribution and habitat for 22 species of resident hummingbirds in the state of Guerrero using the vegetation and the land use map of INEGI Series IV (2007-2010). Distribution models were generated with the Genetic Algorithm for Rule Set Production (GARP), using historical records of scientific collections and fieldwork (2001-2009), in combination with climatic and topographic variables. Of the 22 modeled species, six are endemic to Mexico, the same number of species found in a risk category. The highest concentration with regards to richness (14-20 species), endemism (5-6 species) and number of threatened species of hummingbirds (5-6 species) occurred in the biotic province of Sierra Madre del Sur. However, the potential distribution of most of the hummingbirds occurred in disturbed sites or agroecosystems, as a result of changes in land-use. For *Campylopterus hemileucurus*, *Lamprolaima rhami* and *Heliomaster longirostris*, their potential distribution was highest in areas of primary vegetation. Areas of high hummingbirds presence do not coincide with the Important Bird Areas proposed for bird conservation in Guerrero, considering that, despite its diversity and its extreme popularity, from the conservation perspective hummingbirds have received relatively little attention. Rev. Biol. Trop. 64 (1): 363-376. Epub 2016 March 01.

Key words: species distribution modeling, hummingbirds, montane forests, land-use changes, Sierra Madre del Sur, important bird areas.

La familia Trochilidae (aves comúnmente llamadas colibríes) es endémica del continente Americano y a la fecha se han descrito aproximadamente 338 especies (Fogden, Taylor, & Williamson, 2014; Schuchmann, 1999), de las cuáles 57 habitan en México (American Ornithologists' Union, 1998; Arizmendi & Berlanga, 2014; Torres & Navarro, 2000). La distribución de este grupo abarca desde

el nivel del mar hasta las zonas montanas y submontanas, alcanzando elevaciones superiores a los 3 500 m de altitud (e.g. *Lampornis clemenciae*; Schuchmann, 1999). El papel que desempeñan los colibríes en los ambientes donde se encuentran es de especial importancia ya que llevan a cabo la polinización y reproducción de las plantas, aspecto que ha sido ampliamente documentado particularmente en

los bosques neotropicales (Buzato, Sazima, & Sazima, 2000; Feinsinger, 1976; Partida-Lara, Enríquez, Rangel-Salazar, Lara, & Martínez, 2012; Stiles, 1981). La presencia de este grupo se asocia a sitios con ambientes muy variados que van desde los conservados (e.g. *Lophornis brachylophus*, *Lamprolaima rhami*), alterados (e.g. *Amazilia violiceps*, *Cynanthus sordidus*, *Lampornis clemenciae*; Arizmendi & Berlanga, 2014), hasta jardines y parques de ambientes completamente modificados como los urbanos (e.g. *Heliomaster constantii*; Abad-Ibarra, Navarro-Abad, & Navarro, 2008). Sin embargo, sus patrones de abundancia están generalmente influenciados por la floración y la fenología de las plantas, principalmente en bosques primarios (Dalsgaard et al., 2009; Stotz, Fitzpatrick, Parker, & Moskovits, 1996).

En el Neotrópico y particularmente en México la mayor parte de los estudios sobre esta familia se han enfocado en su relación con el recurso floral (e.g. Arizmendi & Ornelas, 1990; Dalsgaard et al., 2009; Ortiz-Pulido & Lara, 2012; Partida-Lara et al., 2012) y taxonomía (Arbeláez-Córtés & Navarro-Sigüenza, 2013; García-Moreno, Cortés, García-Deras, & Hernández-Baños, 2006), pero muy pocos analizan su distribución desde una perspectiva ecológica (Lara et al., 2012; Ortiz-Pulido & Díaz, 2001; Tinoco, Astudillo, Latta, & Graham, 2009). La carencia de estudios sobre la distribución de este grupo, ha limitado un conocimiento más preciso sobre las áreas que ocupan y por ende repercute directamente en las decisiones integrales para su conservación (Mota-Vargas & Rojas-Soto, 2012). Aunado a esto, los constantes cambios en el uso del suelo transforman los hábitats adecuados por las especies y propician el desplazamiento de varias de ellas que no logran adecuarse a las nuevas condiciones (Peterson, Sánchez-Cordero, Martínez-Meyer, & Navarro-Sigüenza, 2006; Ríos-Muñoz & Navarro-Sigüenza, 2009), lo que modifica más rápidamente la distribución espacial y temporal de las poblaciones.

En este contexto, los modelos de distribución de especies han significado una herramienta muy valiosa para obtener estimaciones

confiables sobre la idoneidad ambiental para las especies, en función de variables ambientales y geográficas (Guisan & Thuiller, 2005; Peterson, 2001). Además, este tipo de información puede ser utilizada como herramienta para evaluar y planificar aspectos relacionados con la conservación, especialmente con grupos susceptibles a la transformación de los hábitats por causas antropogénicas (Peterson et al., 2006; Ríos-Muñoz & Navarro-Sigüenza, 2009; Rivera-Ortiz et al., 2013; Sánchez-Cordero, Illoldi-Rangel, Linaje, Sarkar, & Peterson, 2005; Yáñez-Arenas, Mandujano, Martínez-Meyer, Pérez-Arteaga, & González-Zamora, 2012).

El estado de Guerrero presenta una de las avifaunas más ricas de México (Navarro et al., 2014); sin embargo, al igual que casi todo el Neotrópico exhibe constantes modificaciones a sus hábitats originales, producto de los cambios en el uso del suelo. Además, es la entidad más desprotegida de México en cuanto a las Áreas Naturales Protegidas (ANPs) se refiere (Koleff & Moreno, 2006). Las evaluaciones a grupos que pudieran ser vulnerables a estos cambios como los colibríes, puede dar pautas importantes sobre su conservación y la de sus hábitats tanto en Guerrero, como en el resto del Neotrópico (García-Moreno, Clay, & Ríos-Muñoz, 2007). El objetivo primario de este estudio fue analizar el efecto del uso actual del suelo y vegetación en la distribución de las especies de la familia Trochillidae en el estado de Guerrero. Con el uso de los modelos de distribución de especies se obtuvieron los patrones de distribución potencial de los colibríes. Con esta información se evaluó la presencia de las especies en las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAs) (Arizmendi & Márquez, 2000) del estado. Finalmente, se discute la importancia de considerar algunos atributos biológicos y ecológicos de este grupo de aves en la toma de decisiones sobre conservación.

En este estudio se utilizó el modelado de distribución de especies para abordar tres aspectos principales, el primero fue conocer cuáles son los ambientes potencialmente idóneos que requieren las poblaciones de colibríes

en el estado de Guerrero. El segundo, analizar la distribución potencial de este grupo de aves con el uso de suelo y vegetación para valorar si esto podría tener un efecto negativo en algunas especies, y tercero, evaluar cuál es el grado de superposición entre las AICAs y las zonas de mayor número de especies potenciales en el estado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El estado de Guerrero se ubica en la parte meridional de la República Mexicana, entre los paralelos 16°17'30" N - 18°59'30" N y en los meridianos 98°04'30" W - 102°11'30" W (Fig. 1). Tiene una superficie de 64 282 km² y abarca el 3.3 % del territorio nacional (Meza & López, 1997). La orografía en el estado es accidentada con elevaciones que superan los 3 000 m. Los principales tipos de vegetación en la entidad son el bosque de pino-encino, bosque de encino, bosque de pino, selva baja caducifolia, bosque mesófilo de montaña, selva mediana subcaducifolia, selva mediana caducifolia, tular, vegetación

sabanoide, manglar, y bosque de *Curatella americana* (INEGI, 2010).

Obtención de información puntual: Se recopiló información primaria sobre la distribución de los colibríes que se reportan para Guerrero mediante la consulta de literatura científica (Almazán-Núñez, Rojas-Soto, Nova-Muñoz, & Navarro-Sigüenza, 2009; Navarro, 1998), registros históricos de los colibríes depositados en colecciones científicas provenientes del Atlas de las Aves de México (Navarro, Peterson, & Gordillo-Martínez, 2003), y de trabajo de campo desarrollado durante los años 2001-2009. Los registros en campo se obtuvieron por medio de observaciones y recolecta de ejemplares con ayuda de redes de niebla y guías de campo para su identificación (e.g. Howell, 2003; Sibley, 2003). Se obtuvieron también datos observacionales de la página electrónica de aVerAves (www.averaves.org). Para evitar registros dudosos de este sitio web, no se incluyeron aquellos cuyas localidades no correspondieran con los hábitats utilizados por las especies o bien, registros en cuyas especies

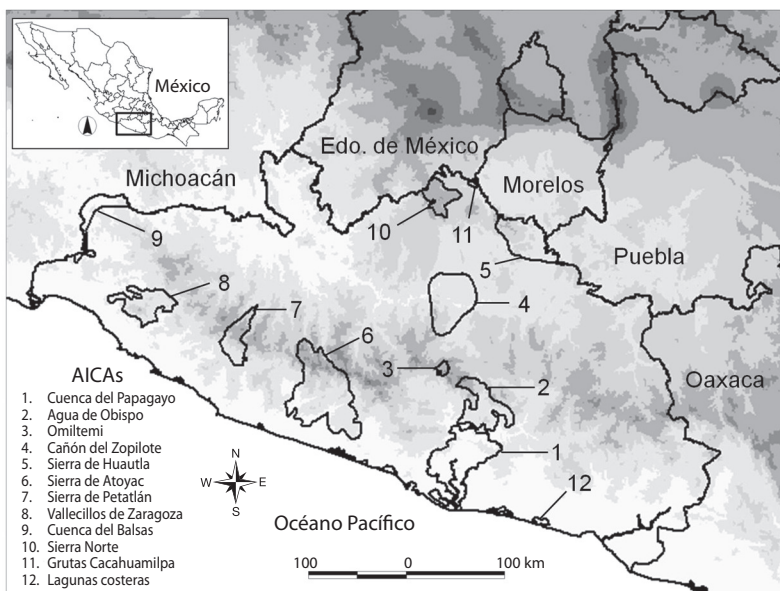


Fig. 1. Ubicación del estado de Guerrero y de las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAs). Los tonos de gris representan las elevaciones (msnm).

Fig. 1. Location of the state of Guerrero and Important Birds Areas (IBAs). The gray tones represent elevation.

las hembras son muy parecidas y representan cierta dificultad en la identificación (e.g. *Archilochus colubris* y *A. alexandri*). Acorde con esta base de datos se asignó el endemismo a México o cuasiendemismo (González-García & Gómez de Silva, 2003), así como el estatus de riesgo según la NOM-059-SEMAR-NAT-2010 (SEMARNAT, 2010). Los nombres científicos están apegados a la propuesta de la American Ornithologist's Union (1998) hasta su última actualización (Chesser et al., 2013).

Modelos de distribución de especies: Los modelos de distribución de especies se generaron utilizando el Algoritmo Genético para la Producción de Conjuntos de Reglas (GARP por sus siglas en inglés; Stockwell & Noble, 1992; Stockwell & Peters, 1999). Esta herramienta ha sido ampliamente utilizada para modelar la distribución de las aves, mostrando un alto poder predictivo (Feria-Arroyo & Peterson, 2002; Ríos-Muñoz & Navarro-Sigüenza, 2009). Se utilizaron las variables climáticas propuestas por Cuervo-Robayo et al. (2013), que son resultado de la interpolación de los datos de temperatura y precipitación disponibles para el período 1910-2009, complementadas con cinco variables topográficas del U. S. Geological Survey Hydro 1k (<http://edcdaac.usgs.gov/topo30/hydro>). Todas las variables ambientales fueron remuestreadas a 1 km de resolución espacial con ayuda del Arc View GIS 3.2 (Arc View GIS version 3.2) Para evitar problemas de sobreparametrización en los modelos, debido a la existencia de una alta correlación entre algunas de las variables climáticas (Elith, Kearney, & Phillips, 2010; Peterson et al., 2011), se realizó un análisis de correlación de Pearson donde solo se consideraron las variables con valores < 0.85. Este valor ha sido utilizado en otros trabajos (Elith et al., 2006, 2010), seleccionando en este caso trece variables que sirvieron para la elaboración de los modelos (Cuadro 1).

Para las especies con más de diez localidades de registro (considerando un registro de la especie por localidad) se usaron pruebas extrínsecas para la evaluación de los modelos, por lo que el número de registros se dividió en datos

CUADRO 1

Variables topográficas y climáticas utilizadas para generar los modelos de distribución de los colibríes del estado de Guerrero

TABLE 1

Topographic and climatic variables used to generate the distribution models of the hummingbirds of the Guerrero state

Lista de variables
Pendiente*
Altitud
Índice topográfico*
Aspecto norte-sur*
Aspecto este-oeste*
Promedio de la temperatura anual
Oscilación diaria de la temperatura*
Isotermalidad*
Estacionalidad de la temperatura
Temperatura máxima del mes más cálido*
Temperatura mínima del mes más frío
Oscilación anual de la temperatura
Promedio de temperatura del trimestre más húmedo
Promedio de temperatura del trimestre más seco
Promedio de temperatura del trimestre más cálido
Promedio de temperatura del trimestre más frío
Precipitación anual
Precipitación del mes más húmedo*
Precipitación del mes más seco*
Estacionalidad de la precipitación*
Precipitación del trimestre más húmedo
Precipitación del trimestre más seco*
Precipitación del trimestre más cálido*
Precipitación del trimestre más frío*

Con un asterisco se indican las variables que se consideraron de acuerdo al análisis de correlación de Pearson.

With an asterisk are indicated the variables used according to Pearson correlation analyses.

de entrenamiento y validación (Anderson, Lew, & Peterson, 2003). Los modelos de especies con menos de diez registros fueron validados utilizando evaluación intrínseca calculada directamente por el algoritmo (Stockwell & Peters, 1999). De las 30 especies de colibríes registrados en Guerrero solo se modelaron las especies residentes (22 especies), dejando fuera a las migratorias (i.e. *Archilochus colubris*, *A. alexandri*, *Selasphorus calliope*, *S. platycercus* y *S. rufus*), debido a que estas responden a

factores ecológicos y temporales que no están representados en las coberturas ambientales que se utilizaron (Alerstam, Hedenström, & Akesson, 2003). Además, otras tres especies residentes no pudieron ser modeladas por presentar un solo registro de presencia en el estado (*Amazilia candida*, *Anthracothorax prevostii*, *Calothorax pulcher*).

Se realizaron 100 réplicas por especie y de estos se eligieron los 10 mejores modelos ("best subsets"), considerando aquellos con menores errores de omisión y valores moderados de comisión (Anderson et al., 2003). Estos modelos se sumaron para obtener un umbral de consenso para cada especie procurando que los mapas predijeran al menos el 90 % de los registros de recolecta de las especies. Los modelos obtenidos por especie fueron sumados para generar mapas de riqueza de especies, concentración de especies endémicas y en riesgo.

La evaluación de los modelos finales por especie se llevó a cabo usando una curva parcial operada por el receptor (ROC, por sus siglas en inglés; Peterson, Papes, & Soberón, 2008). El cálculo de las ROC parciales por especie se realizó mediante el software Partial ROC (Narayani, 2008). Se especificaron 1 000 repeticiones para el remuestreo con reemplazo y 50 % del total de los puntos en el bootstrap. Se calculó que el promedio de la razón de AUC (área bajo la curva) fuera mayor a uno, debido a que el modelo mejora con respecto a un modelo aleatorio (Peterson et al., 2008).

Caracterización del hábitat potencial:

Para analizar la pérdida de hábitat, con los mismos mapas generados por los modelos de distribución, para cada especie se hizo un recorte a las áreas de distribución potencial donde han existido modificaciones o reemplazamiento total de la cobertura vegetal original. Esto se hizo bajo la premisa de que estas zonas no representan sitios idóneos para la presencia de los colibríes (i.e. agricultura, vegetación secundaria, pastizales inducidos, zonas urbanas, entre otras), de acuerdo al mapa de uso de suelo y vegetación Serie IV de INEGI (2010). Aunque para varias especies de colibríes su

tolerancia a ambientes alterados puede no afectar su ecología poblacional (e.g. *Hylocharis leucotis*), para algunas otras (e.g. *Lamprolaima rhami*) se tiene documentado que su presencia y establecimiento está vinculado con ambientes en buen estado de conservación (Dalsgaard et al., 2009; Renner, Waltert, & Mühlenberg, 2006; Schuchmann, 1999). Por tal razón, se evaluó la superficie potencial que ocupan las especies de esta familia y que esta superpuesta con ambos tipos de ambientes (alterado y no alterado).

Áreas de alta riqueza de colibríes en las AICAs: Con los mapas de riqueza de especies, especies endémicas y en riesgo, se seleccionaron las áreas con mayor concentración de distribución potencial de colibríes. Para esto, a partir del máximo número de especies que se pudo encontrar en estos mapas, se dividió el número total de especies de acuerdo a su concentración en tres categorías: alta, media y baja (Almazán-Núñez, López de Aquino, Ríos-Muñoz, & Navarro-Sigüenza, 2013). Solo se recortaron las áreas de alta riqueza las cuales fueron comparadas con las AICAs del estado de Guerrero (Fig. 1; Arizmendi & Márquez, 2000), debido a que las ANPs están pobremente representadas en la entidad (cubren menos del 0.036 % de la superficie). Esto se hizo con la finalidad de evaluar el grado de superposición entre ambos tipos de áreas.

RESULTADOS

Patrones de distribución: Los modelos de distribución de especies mostraron una buena capacidad predictiva ya que al ser analizados mediante muestreo con reemplazo (bootstrap, 1 000 réplicas), se obtuvieron proporciones > 1 entre las proporciones de AUC recalculadas, por lo que se rechazó la hipótesis nula, y se demostró que la distribución de las especies de colibríes fue mejor que los modelos esperados por azar (Cuadro 2). Por otra parte, las áreas de mayor riqueza potencial de colibríes residentes en el estado (14-20 especies) se obtuvieron en las zonas montañosas de la Sierra Madre del Sur

CUADRO 2
Áreas de distribución potencial de las especies de colibríes por tipo de vegetación

TABLE 2
Areas of potential distribution of hummingbirds by vegetation type

Especies	Promedio razón AUC	Distribución hipotética total km ²	Distribución hipotética por tipo de vegetación primaria (km ²)												Distribución total en vegetación primaria km ²		Distribución total en ambientes perturbados km ²	
			BE	BEP	BPE	BP	BC	S	BMM	SMS	SBC	SMP	SMC	M	T			
<i>Phaethornis longirostris</i>	1.75	7 650	411	317	1 528	235	12	12	529	82	12	141	0	0	0	0	3 279	4 371
<i>Campylopterus hemileucurus</i>	1.99	282	12	0	47	0	0	0	94	0	0	12	0	0	0	0	165	118
<i>Colibri thalassinus</i>	1.51	8 284	447	329	1 410	294	82	0	552	24	59	12	0	0	0	0	3 208	5 076
<i>Lophornis brachylophus</i> * [^]	1.93	2 762	82	106	482	141	0	0	423	35	0	71	0	0	0	0	1 340	1 422
<i>Chlorostilbon auriceps</i> *	1.91	4 595	35	24	482	0	0	0	0	0	106	0	0	0	0	0	646	3 948
<i>Cyananthus sordidus</i> *	1.51	23 279	1 293	200	376	47	59	0	12	0	1 011	0	0	0	0	0	2 997	20 282
<i>Cyananthus latirostris</i>	1.23	38 567	1 069	529	1 281	129	35	71	235	106	1 551	24	24	35	47	0	5 135	33 431
<i>Hylocharis leucotis</i>	1.49	18 073	1 152	776	3 079	494	82	0	928	71	153	82	0	0	0	0	6 816	11 257
<i>Amazilia beryllina</i>	1.36	29 589	1 575	975	3 267	482	82	0	740	106	1 046	153	0	0	0	0	8 425	21 163
<i>Amazilia rutila</i>	1.42	27 286	752	987	2 820	423	12	59	623	176	646	259	24	12	47	0	6 839	20 447
<i>Amazilia violiceps</i>	1.28	27 697	1 328	482	1 340	141	71	12	106	47	1 351	0	0	0	0	0	4 877	22 820
<i>Amazilia viridifrons</i> * [^]	1.52	14 536	693	458	1 481	200	35	12	282	71	423	24	0	0	0	0	3 678	10 858
<i>Eupherusa polioceca</i> * [^]	1.56	18 661	0	846	2 562	411	24	12	729	129	411	259	24	0	0	0	5 405	13 255
<i>Lampornis amethystinus</i>	1.59	27 156	1 058	1 058	3 361	599	82	0	1 011	118	588	270	12	0	12	0	8 167	18 990
<i>Lampornis clemenciae</i>	1.59	11 199	588	494	1 951	270	59	0	447	47	82	12	0	0	0	0	3 948	7 250
<i>Lamprolaima rhaini</i> [^]	1.78	5 347	294	223	1 152	212	552	0	494	259	0	576	0	0	0	0	3 760	1 586
<i>Eugenes fulgens</i>	1.62	12 738	646	435	2 491	400	82	0	870	71	106	35	0	0	0	0	5 135	7 603
<i>Helimaster longirostris</i> [^]	1.94	3 185	165	82	846	82	0	0	341	47	12	71	0	0	0	0	1 645	1 539
<i>Helimaster constantii</i>	1.29	24 747	423	294	693	47	0	59	24	59	1 069	24	0	0	0	0	2 691	22 057
<i>Tilmatura dupontii</i> [^]	1.47	8 449	376	235	823	94	24	0	118	35	200	12	0	0	0	0	1 915	6 534
<i>Calothorax lucifer</i>	1.95	2 244	82	0	94	12	12	0	0	0	12	0	0	0	0	0	212	2 033
<i>Athys heloisa</i> *	1.68	17 979	881	846	2 726	517	82	12	940	82	259	212	0	0	0	0	6 557	11 422

* Especies endémicas, ^ Especies en alguna categoría de riesgo. BE = bosque de encino, BEP = bosque de encino-pino, BPE = bosque de encino-pino, BP = bosque de pino, BC = bosque de *Curatella americana*, S = sabanoide, BMM = bosque mesófilo de montaña, SMS = selva mediana subcaducifolia, SBC = selva mediana subcaducifolia, SMC = selva mediana superennifolia, SMC = selva mediana caducifolia, M = manglar, T = tular. * Endemic species, ^ Species in risk category. BE = oak forest, BEP = oak-pine forest, BP = pine forest, BC = *Curatella americana* forest, S = grassland, BMM = cloud forest, SMS = semideciduous tropical forest, SBC = tropical dry forest, SMP = subevergreen medium forest, SMC = deciduous medium forest, M = mangrove, T = tular vegetation.



(SMS) y algunas zonas de la Sierra Norte (Fig. 2A). En cambio, las áreas con menor presencia están situadas al este de la SMS, la Planicie Costera y la porción oeste de la Cuenca del Balsas. Para las especies endémicas de México y cuasiendémicas (Cuadro 2), existe un patrón de distribución muy similar al de la riqueza (Fig. 2B); es decir, la distribución de las endémicas esta en zonas altas y muy restringidas (5-6 especies), que coinciden con cañones y

barrancas principalmente en la SMS. De las seis especies en alguna categoría de riesgo de acuerdo con la legislación mexicana (Cuadro 2), la máxima concentración de troquílidos también se encuentra en la SMS (Fig. 2C).

Pérdida potencial del hábitat: Los análisis de distribución de las especies en cada tipo de vegetación muestran el gran avance que ha tenido la frontera agropecuaria, y como

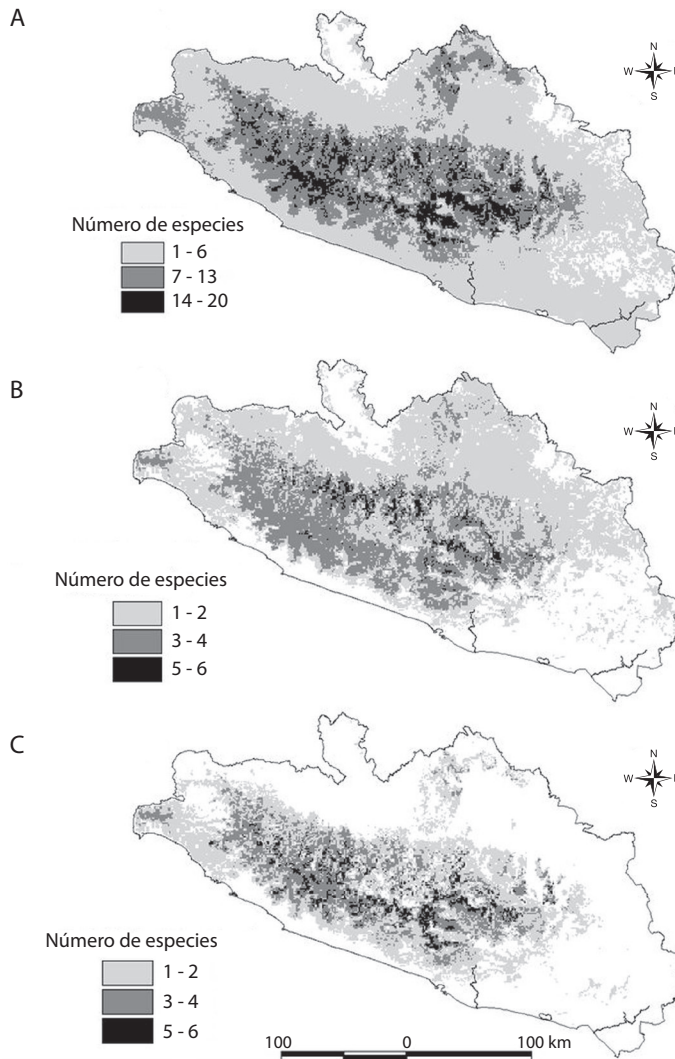


Fig. 2. Regiones potenciales con mayor riqueza (A), endemismo (B) y especies en riesgo (C) de colibríes en el estado de Guerrero.

Fig. 2. Potential regions with the highest richness (A), endemism (B) and species at risk (C) of hummingbirds in the state of Guerrero.

consecuencia, los ambientes donde se desarrollan gran parte de los colibríes han sido sustituidos. Las especies que se asocian a zonas en buen estado de conservación son: *Phaetornis longirostris*, *Lophornis brachylophus*, *Lampornis amethystinus*, *Lamprolaima rhami*, *Chlorostilbon auriceps*, *Eupherusa poliocerca* y *Campylopterus hemileucurus*. De estas, la distribución de *E. poliocerca* y *L. amethystinus* abarca todavía zonas conservadas de bosques de pino-encino, encino-pino y mesófilo de montaña (Cuadro 2). Sin embargo, para estas especies la mayor parte de sus hábitats potenciales se han perdido debido a que en la actualidad su distribución potencial coincide en más del 70 % con ambientes alterados o agroecosistemas (Cuadro 2). Asimismo, la especie endémica de México *C. auriceps* y la endémica a Guerrero *L. brachylophus*, han visto modificado sus hábitats potenciales en 86 % y 52 % respectivamente (Cuadro 2). De este grupo de especies, solo la distribución de *C. hemileucurus* y *L. rhami* es mayor en áreas primarias con el 59 % y 70 % respectivamente (Cuadro 2).

Para otras especies que suelen ser más adaptables a ambientes modificados como *Cynanthus sordidus*, *C. latirostris*, *Amazilia violiceps*, *Heliomaster constantii* y *Calothorax*

lucifer, más del 80 % de su distribución potencial coincide con ambientes alterados (Cuadro 2). Otras como *Colibri thalassinus*, *Hylocharis leucotis*, *Amazilia beryllina*, *A. rutila*, *A. viridifrons*, *Lampornis clemenciae*, *Eugenes fulgens*, *Tilmatura dupontii* y *Atthis heloisa* su distribución predicha coincide entre el 60 % y 77 % con hábitats secundarios o completamente modificados (Cuadro 2). La distribución de *Heliomaster longirostris* abarca más hábitats potenciales primarios que alterados o secundarios (Cuadro 2), siendo una especie que puede vivir en bordes de pino-encino y algunos claros de bosque. De los ambientes primarios, los bosques de pino-encino, encino, encino-pino, mesófilo de montaña y la selva baja caducifolia son los tipos de vegetación potencialmente más utilizados por los colibríes (Cuadro 2).

Áreas de alta riqueza de especies en las AICAS: Las áreas de mayor riqueza (14-20 especies), endemismo (5-6 especies) y especies en riesgo (5-6 especies) de colibríes en el estado no coinciden con la mayoría de las AICAS (Cuadro 3). El AICA Agua de Obispo cubre el 28.3 % de las áreas de mayor riqueza potencial, 7.1 % de endemismo, y el 3.5 % de áreas con mayor número de especies en riesgo (Cuadro

CUADRO 3

Porcentaje de superposición de las AICAS con las áreas de mayor riqueza, endemismo y especies en riesgo de colibríes en el estado de Guerrero

TABLE 3

Percent overlap of the IBAs with the areas of higher richness, endemism and endangered species of hummingbirds in the state of Guerrero

AICAS	Superficie (km ²)	Superficie de alta riqueza km ²	Riqueza (%)	Superficie de alto endemismo km ²	Endemismo (%)	Superficie de alta concentración de especies en riesgo km ²	Especies en riesgo (%)
Agua de Obispo	665.8	188.4	28.3	4.7	0.7	2.3	0.4
Vallecitos de Zaragoza	548.1	11.7	2.1	0	0	11.7	2.1
Sierra de Atoyac	1 716.6	70.1	4.1	0	0	116.7	6.8
Sierra de Huautla	25.0	0.4	1.6	0.8	3.2	0	0
Cañón del Zopilote	923.7	23.1	2.5	0	0	11.1	1.2
Sierra de Petatlán	410.8	129.1	31.4	0	0	47.0	11.4
Total	4 290.0	423.2	70.1	5.5	3.9	188.8	21.9

Se muestran las AICAS que estuvieron representadas por áreas de alta riqueza, endemismo y especies en riesgo de colibríes. We show the IBAs that were represented by areas of high richness, endemism and species at risk of hummingbirds.

3). La Sierra de Petatlán también cuenta con una representatividad importante de áreas de riqueza y de especies en riesgo, pero no de endemismo. Existen otras AICAs como Vallecitos de Zaragoza, Sierra de Atoyac, Sierra de Huautla y el Cañón del Zopilote que tienen una superficie considerable, pero que su intersección con las zonas de alta concentración de especies es menor (Cuadro 3).

DISCUSIÓN

Se encontró que la mayor riqueza potencial, el endemismo y las especies en riesgo de la familia Trochillidae están concentradas principalmente en las zonas montañas de la SMS y la Sierra Norte. Estas provincias bióticas se caracterizan por presentar climas que favorecen la presencia de extensos bosques montañosos, gradientes ambientales y recursos alimentarios que favorecen la presencia de este grupo de aves (Navarro, 1998; Almazán-Núñez, 2009). Además, presentan una topografía muy accidentada que favorece la existencia de vegetación propia de estas zonas como el bosque mesófilo de montaña, caracterizado por poseer altas concentraciones de taxones endémicos (e.g. *Lophornis brachylophus*, *Eupherusa poliocerca*; Challenger, 1998; Escalante, Navarro, & Peterson, 1998). Esto además representa mayor importancia para la conservación, algo que ya se ha sugerido para la SMS utilizando a otros organismos indicadores como anfibios y reptiles (Ochoa-Ochoa & Flores-Villela, 2006), felinos como el jaguar (Cuervo-Robayo & Monroy-Vilchis, 2012) y en general para las aves (Alvarez & Morrone, 2004).

Por otra parte, para los colibríes la destrucción de los hábitats y los cambios en el uso del suelo, generalmente influyen de forma negativa en su distribución, aspecto que también se ha demostrado para otros grupos animales (Sánchez-Cordero et al., 2005; Peterson et al., 2006; Ríos-Muñoz & Navarro-Sigüenza, 2009; Cuervo-Robayo & Monroy-Vilchis, 2012; Yáñez-Arenas et al., 2012; Rivera-Ortiz et al., 2013; Plasencia & Escalona-Segura, 2014). El estado de Guerrero al igual que casi todo el

Neotrópico, constantemente ha modificado sus ambientes producto de la apertura de nuevas áreas agrícolas y ganaderas (Cervantes, Arriaga, & Carabias, 1996). Esto ha suscitado que las poblaciones de varias especies de aves se hayan reducido de forma significativa, al grado incluso de generar extinciones locales como ha ocurrido con la guacamaya verde (*Ara militaris*) en varias regiones del estado (Navarro & Escalante, 1993; Almazán-Núñez & Nova-Muñoz, 2006).

Para la mayor parte de las especies de colibríes, su distribución potencial coincide con ambientes alterados o completamente modificados (i.e. zonas urbanas y sin vegetación aparente). Este patrón es consistente en otros bosques neotropicales, donde una de las mayores amenazas para las aves es la pérdida de hábitat (García-Moreno et al., 2007), y donde varias especies de colibríes persisten en fragmentos con bosques de crecimiento secundario (Stouffer & Bierregaard, 1995). Por citar algunos ejemplos, *Hylocharis leucotis*, *Cynanthus sordidus*, *Helimaster constantii*, *Amazilia violiceps* y *Calothorax lucifer* estuvieron ampliamente distribuidos en ambientes alterados. Estas especies pueden tolerar cambios de hábitat y sus poblaciones son más abundantes en vegetación secundaria con predominancia de arbustos (Schuchmann, 1999, Ortiz-Pulido & Díaz, 2001; Partida-Lara et al., 2012; Arizmendi & Berlanga, 2014). No obstante, la presencia de estas especies está condicionada en gran medida por el recurso floral (Schuchmann, 1999; Dalsgaard et al., 2009), por lo que áreas completamente desprovistas de vegetación o transformadas a campos de cultivo podrían significar reducciones en sus poblaciones, en particular porque necesitan de bosques primarios para su reproducción (Wethington & Finley, 2009). Además de ello, los movimientos de estas especies producto de las alteraciones implican mayor riesgo de ser depredadas (Hadley & Betts, 2009).

Existen otras especies que son especialistas del interior de bosques y que la pérdida de los ambientes donde se desarrollan podría afectar drásticamente su tamaño poblacional

a lo largo de su área de distribución (Stotz et al., 1996; Schuchmann, 1999). Un ejemplo de ello son las especies *Phaethornis longirostris*, *Campylopterus hemileucurus*, *Lophornis brachylophus*, *Chlorostilbon auriceps*, *Eupherusa poliocerca*, *Lampornis amethystinus* y *Lamprolaima rhami*. Los hábitats potenciales de estas especies son principalmente la selva mediana subcaducifolia de la costa del Pacífico, la selva baja caducifolia de la Cuenca del Balsas y el bosque mesófilo de montaña y de pinoencino de la SMS (Arizmendi & Berlanga, 2014; Howell & Webb, 1995). Estos tipos de vegetación han sido ampliamente modificados, tanto por las presiones agrícolas como por la explotación del recurso forestal maderable (Challenger, 1998; Palacios-Wassenaar, Castillo-Campos, Vásquez-Torres, & Rodríguez, 2014). De manera particular, la selva baja caducifolia es el ecosistema más amenazado a nivel mundial por los constantes cambios en el uso del suelo (Miles et al., 2006). Tan solo en Mesoamérica se estima que más de 300 000 hectáreas se pierden anualmente, por lo que en la actualidad cubren menos del 0.1 % de su superficie original (Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeita, 2010). Asimismo, los bosques mesófilos de montaña constituyen ecosistemas frágiles debido a la distribución fragmentada que presentan (Williams-Linera, Manson, & Isunza, 2002), aunado a que sus requerimientos climáticos restringidos los hace más vulnerables al cambio climático y en consecuencia su fauna endémica también se ve perjudicada (Rojas-Soto, Sosa, & Ornelas, 2012).

Como resultado de estos cambios de hábitat, actualmente la distribución potencial de especies asociadas a ambientes conservados, coincide en gran medida con áreas modificadas por causas antropogénicas. De especial importancia son los casos de *Eupherusa poliocerca* y *Lophornis brachylophus*, colibríes que además de ser endémicos a la SMS y al estado de Guerrero respectivamente, se encuentran en alguna categoría de riesgo por la legislación mexicana. Los análisis realizados dan una idea aproximada del área en la distribución potencial que han perdido estas especies (13 255 km² para *E.*

policerca y 1 422 km² para *L. brachylophus*). Esta área es considerable, sobre todo si se toma en cuenta que sus poblaciones presentan rareza biogeográfica (a la Sierra Madre del Sur), ecológica (a los bosques húmedos de montaña) y muy probablemente demográfica, por la baja densidad en la que suelen presentarse (Rabinowitz, 1981). De continuar con las mismas tendencias de cambio de uso del suelo, estas poblaciones estarían destinadas a un proceso de extinción inminente. Estudios que revelen la situación poblacional con estas y otras especies de interior de bosques serán necesarios para evaluar las posibles afectaciones producto del cambio en el uso del suelo. Cabe indicar que la distribución de estas especies es muy local dentro de la porción central de la SMS (Arizmendi & Berlanga, 2014). De acuerdo con los resultados obtenidos existen zonas adecuadas donde potencialmente podrían encontrarse nuevas poblaciones, como por ejemplo el oeste de esta región y donde recientemente se confirmó la presencia de *E. poliocerca* (Almazán-Núñez et al., 2009).

Por otra parte, a nivel nacional el estado de Guerrero es uno de los que menos superficie tiene destinada a la protección de sus recursos biológicos (Koleff & Moreno, 2006). Los criterios más usados para asignar prioridades para la conservación son variados, pero destacan por su importancia los atributos biológicos como el endemismo, la riqueza y la rareza (Arizmendi & Márquez, 2000; Lamoreux et al., 2006), además de las especies que se encuentran en las listas rojas oficiales producto de las elevadas tasas de extinción por actividades humanas (Pimm, Raven, Peterson, Sekercioglu, & Ehrlich, 2006). Las AICAs de México están propuestas usando este tipo de criterios y, aunque no poseen una declaratoria oficial, muestran los sitios prioritarios para la conservación de las aves. Al analizar a los colibríes de Guerrero se muestra que el nivel de coincidencia entre las zonas de mayor riqueza y este tipo de áreas es muy bajo. De las doce AICAs, solo dos de ellas (Agua de Obispo y Sierra de Petatlán) cubren alrededor del 30 % de las áreas de mayor riqueza. Para el caso del endemismo, la Sierra

de Huautla cubre apenas el 3.2 %. La Sierra de Petatlán presentó una mayor intersección con las áreas de alta concentración de especies en riesgo (11.4 %). El resto de las AICAs no logran cubrir los sitios de mayor concentración de colibríes.

Lo anterior confirma que pese a su diversidad y extrema popularidad, desde la perspectiva conservacionista los colibríes han recibido relativamente poca atención (Wethington & Finley, 2009). Los esfuerzos de conservación son importantes para este grupo de aves en Guerrero, debido a que las regiones tropicales del sur de México son precisamente las zonas de mayor amenaza para los colibríes (Wethington, West, & Carlson, 2005). Dada la importancia de este grupo de aves en la dinámica funcional de los ecosistemas, la información sobre su historia de vida, distribución, hábitat y ecología, particularmente de las especies de mayor riesgo, podría ayudar a establecer prioridades de conservación a diferentes escalas que permitan esfuerzos más efectivos, ya que su conservación depende en gran medida de la conservación de los bosques.

AGRADECIMIENTOS

A la Unidad Académica de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Guerrero por el apoyo otorgado para la realización de este proyecto. A tres revisores anónimos cuyas observaciones mejoraron la versión inicial de este manuscrito. A Adolfo G. Navarro-Sigüenza por permitirnos el uso de los datos puntuales de distribución del Atlas de las Aves de México. Se agradece el apoyo en el trabajo de campo de Oscar Nova, Roberto Baheña, Trinidad Cruz, Jeraldin González, Noemí González, Brenda Vargas y Oscar Sánchez.

RESUMEN

La distribución y abundancia de la familia Trochilidae generalmente están influenciadas por la floración y fenología de las plantas de las que se alimentan, principalmente en bosques primarios, por lo que los cambios en la cobertura de la vegetación pueden afectar a sus

poblaciones. Se analizó la distribución geográfica y se caracterizó el hábitat para 22 especies residentes de colibríes presentes en el estado de Guerrero con base en el uso de suelo y vegetación de INEGI Serie IV (2007-2010). Los modelos de distribución se generaron con ayuda del Algoritmo Genético para la Producción de Conjuntos de Reglas (GARP), usando los registros históricos de colecciones científicas y trabajo de campo (2001-2009), en combinación con variables climáticas y topográficas. De las 22 especies modeladas, seis son endémicas a México, mismo número de especies que se encuentran en alguna categoría de riesgo. La mayor concentración potencial de la riqueza (14-20 especies), endemismo (5-6 especies) y especies en riesgo de colibríes (5-6 especies) está en la provincia biótica de la Sierra Madre del Sur. No obstante, la distribución potencial de la mayor parte de los colibríes se presenta en ambientes alterados o agroecosistemas resultado de los cambios en el uso del suelo. Solo en el caso de *Campylopterus hemileucurus*, *Lamprolaima rhami* y *Heliomaster longisrostris*, su distribución potencial es mayor en áreas de vegetación primaria. Las áreas de mayor concentración de colibríes no corresponden con las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves en Guerrero, lo que confirma que pese a su diversidad y su extrema popularidad, desde la perspectiva conservacionista los colibríes han recibido relativamente poca atención.

Palabras clave: modelado de distribución de especies, colibríes, bosques montanos, cambios de uso del suelo, Sierra Madre del Sur, áreas de importancia para la conservación de las aves.

REFERENCIAS

- Abad-Ibarra, C., Navarro-Abad, M., & Navarro, A. G. (2008). El colibrí picolargo (*Heliomaster constantii*), en el Distrito Federal, México. *Huitzil*, 9, 4-5.
- Alerstam, T., Hedenström, A., & Åkesson, S. (2003). Long-distance migration: evolution and determinants. *Oikos*, 103, 247-260.
- Almazán-Núñez, R. C. (2009). Información adicional de la avifauna de la Sierra Norte de Guerrero, México. *Acta Zoológica Mexicana n.s.*, 25, 537-550.
- Almazán-Núñez, R. C., López de Aquino, S., Ríos-Muñoz, C. A., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2013). Áreas potenciales de riqueza, endemismo y conservación de las aves del estado de Querétaro, México. *Inter-ciencia*, 38, 26-34.
- Almazán-Núñez, R. C., & Nova-Muñoz, O. (2006). La guacamaya verde (*Ara militaris*) en la Sierra Madre del Sur, Guerrero, México. *Huitzil*, 7, 20-22.
- Almazán-Núñez, R. C., Rojas-Soto, O. R., Nova-Muñoz, O., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2009). Blackpoll warbler (*Dendroica striata*) and other records of birds

- from Guerrero, Mexico. *Southwestern Naturalist*, 54, 510-514.
- Álvarez, M. E., & Morrone, J. J. (2004). Propuesta de áreas para la conservación de aves de México, empleando herramientas panbiogeográficas e índices de complementariedad. *Interciencia*, 29, 112-120.
- Anderson, R. P., Lew, D., & Peterson, A. T. (2003). Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, 162, 211-232.
- American Ornithologists' Union. (1998). *Checklist of North American Birds*. Washington, DC, USA: American Ornithologists' Union.
- Arbeláez-Cortés, E., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2013). Molecular evidence of the taxonomic status of western Mexican populations of *Phaethornis longirostris* (Aves: Trochillidae). *Zootaxa*, 3716, 81-97.
- Arc View GIS 3.2 (version 3.2) [computer software]. Redlands, California, USA: ESRI (Environmental Scientific Research Institute).
- Arizmendi, M. C., & Ornelas, J. F. (1990). Hummingbirds and their floral resources in a tropical dry forest in Mexico. *Biotropica*, 22, 172-180.
- Arizmendi, M. C., & Berlanga, H. (2014). *Colibríes de México y Norteamérica. Hummingbirds of Mexico and North America*. México, D.F.: CONABIO.
- Arizmendi, M. C. & Márquez, L. (Eds.). (2000). *Áreas de importancia para la conservación de las aves de México*. México, D.F.: CONABIO.
- Buzato, S., Sazima, M., & Sazima, I. (2000). Hummingbird-pollinated loras at three Atlantic Forest sites. *Biotropica*, 32, 824-841.
- Cervantes, G. V., Arriaga, V., & Carabias, J. (1996). La problemática socioambiental e institucional de la reforestación en la región de La Montaña, Guerrero, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 59, 67-80.
- Challenger, A. (1998). *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro*. México, D.F.: CONABIO-Instituto de Biología UNAM-Sierra Madre.
- Chesser, R. T., Banks, R. C., Barker, F. K., Cicero, C., Dunn, J. L., Kratter, A. W., Lovette, I. J., Rasmussen, P. C., Remsen, J. V., Rising, J. D., Stotz, D. F., & Winker, K. (2013). Fifty-Fourth Supplement to the American Ornithologists' Union Check-list of North American Birds. *Auk*, 130, 558-572.
- Cuervo-Robayo, A. P., & Monroy-Vichis, O. (2012). Distribución potencial del jaguar *Panthera onca* (Carnivora: Felidae) en Guerrero, México: persistencia de zonas para su conservación. *Revista de Biología Tropical*, 60, 1357-1367.
- 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, 2427-2437.
- Dalsgaard, B., Martin, G. A., Olesen, M., Ollerton, J. M., Timmermann, A., Andersen, L. H., & Tossas, A. G. (2009). Plant-hummingbird interactions in the West Indies: floral specialization gradients associated with environment and hummingbird size. *Oecologia*, 159, 757-766.
- Escalante, P., Navarro, A. G., & Peterson, A. T. (1998). Un análisis geográfico, ecológico e histórico de la diversidad de aves terrestres de México. In T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, & J. Fa (Eds.), *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución* (pp. 201-219). México, D. F.: Instituto de Biología, UNAM.
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudik, 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., Overton, J., Peterson, A. T., Phillips, S. J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M. S., & Zimmermann, N. E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129-151.
- Elith, J., Kearney, M., & Phillips, S. (2010). The art of modelling range-shifting species. *Methods in Ecology and Evolution*, 1, 330-342.
- Feinsinger, P. (1976). Organization of a tropical guild of nectarivorous birds. *Ecological Monographs*, 46, 257-291.
- Feria-Arroyo, T. P., & Peterson, A. T. (2002). Prediction of bird community composition based on point-occurrence data and inferential algorithms: a valuable tool in biodiversity assessments. *Diversity and Distribution*, 8, 49-56.
- Fogden, M., Taylor, M., & Williamson, S. L. (2014). *Hummingbirds. A life-size guide to every species*. New York: Harper Collins.
- García-Moreno, J., Clay, R. P., & Ríos-Muñoz, C. A. (2007). The importance of birds for conservation in the Neotropical region. *Journal of Ornithology*, 148, S321-S326.
- García-Moreno, J., Cortés, N., García-Deras, G. M., & Hernández-Baños, B. E. (2006). Local origin and diversification among *Lampornis* hummingbirds: a Mesoamerican taxon. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 38, 488-498.
- González-García, F. & Gómez de Silva, H. (2003). Especies endémicas: riqueza, patrones de distribución y retos para su conservación. In H. Gómez de Silva, & A. Oliveras de Ita (Eds.), *Conservación de aves:*

- experiencias en México (pp. 150-194). México, D.F.: CIPAMEX-CONABIO-NFWF.
- Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8, 993-1009.
- Hadley, A. S., & Betts, M. G. (2009). Tropical deforestation alters hummingbird movement patterns. *Biology Letters*, 5, 207-210.
- Howell, S. N. G. (2003). *Hummingbirds of North America*. New Jersey: Princeton University Press.
- Howell, S. N. G., & Webb, S. (1995). *A guide to the birds of Mexico and Northern Central America*. New York, USA: Oxford University Press.
- INEGI. (2010). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación: escala 1:250 000. Serie IV (continuo nacional)*. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Koleff, P., & Moreno, E. (2006). Áreas protegidas de México y representación de la riqueza. In J. Llorente-Bousquets, & J. J. Morrone (Eds.), *Regionalización biogeográfica en Iberoamérica y tópicos afines* (pp. 351-373). México, D.F.: CYTED-UNAM-CONABIO.
- Lamoreux, J. F., Morrison, J. C., Ricketts, T. H., Olson, D. M., Dinerstein, E., McKnight, M. W., & Shugart, H. H. (2006). Global tests of biodiversity concordance and the importance of endemism. *Nature*, 440, 212-214.
- Lara, C., Feria-Arroyo, T. P., Dale, J., Muñoz, J., Arizmendi, M. C., Ornelas, J. F., Ortíz-Pulido, R., Rodríguez-Flores, C. I., Díaz-Valenzuela, R., Martínez-García, V., Díaz-Palacios, A., Partida, R., Enriquez, P. L., Rangel-Salazar, J. L., & Schondube, J. (2012). Potential effects of the climate change in the distribution of hummingbirds: a study case with hummingbirds from the genus *Amazilia* and *Cyananthus*. *Ornitología Neotropical*, 23, 57-70.
- Meza, M. A., & López, J. (1997). Vegetación y mesoclimas de Guerrero. En N. Diego y R. M. Fonseca (Eds.), *Estudios florísticos en Guerrero* (pp. 1-51). México, D.F.: Facultad de Ciencias UNAM.
- Miles, L., Newton, A. C., DeFries, R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., Kapos, V., & Gordon, J. E. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33, 491-505.
- Mota-Vargas, C., & Rojas-Soto, O. (2012). The importance of defining the geographic distribution of species for conservation: The case of the Bearded Wood-Partridge. *Journal for Nature Conservation*, 20, 10-17.
- Navarro, A. G. (1998). *Distribución geográfica y ecológica de la avifauna del estado de Guerrero, México* (Tesis de doctorado). Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F.
- Navarro, A. G., & Escalante, P. (1993). Aves. In I. Luna & J. Llorente (Eds.), *Historia natural del parque ecológico estatal Omiltemi, Chilpancingo, Guerrero, México* (pp. 443-501). México, D.F.: CONABIO-UNAM.
- Navarro, A. G., Peterson, A. T., & Gordillo-Martínez, A. (2003). Museums working together: the atlas of the birds of Mexico. *Bulletin of the British Ornithologists' Club*, 123A, 207-225.
- Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T., Berlanga-García, H., & Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, S476-S495.
- Narayani, B. (2008). *Tool for Partial-ROC v. 1.0*. Lawrence, Kansas: Biodiversity Institute.
- Ochoa-Ochoa, L. M., & Flores-Villela, O. (2006). *Áreas de diversidad y endemismo de la herpetofauna mexicana*. México, D.F.: UNAM-CONABIO.
- Ortiz-Pulido, R., & Díaz, R. (2001). Distribución de colibríes en la zona baja del centro de Veracruz, México. *Ornitología Neotropical*, 12, 297-317.
- Ortiz-Pulido, R., & Lara, C. (2012). Is energy in nectar a good predictor of hummingbird activity at landscape scale? *Italian Journal of Zoology*, 79, 100-104.
- Palacios-Wassenaar, O., Castillo-Campos, G., Vásquez-Torres, S. M., & Rodríguez, S. (2014). Flora vascular de la selva mediana subcaducifolia del centro de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 128-142.
- Partida-Lara, R., Enriquez, L. P., Rangel-Salazar, J. L., Lara, C., & Martínez, I. M. (2012). Abundancia de colibríes y uso de flores en un bosque templado del sureste de México. *Revista de Biología Tropical*, 60, 1621-1630.
- Peterson, A. T. (2001). Predicting species geographic distributions base on ecological niche modeling. *Condor*, 103, 599-605.
- Peterson, A. T., Papes, M., & Soberón, J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*, 213, 63-72.
- Peterson, A. T., Sanchez-Cordero, V., Martínez-Meyer, E., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2006). Tracking population extirpations via melding ecological niche modeling with land cover information. *Ecological Modelling*, 103, 229-236.
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Araujo, M. B. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Pimm, S., Raven, P., Peterson, A., Sekercioglu, C. H., & Ehrlich, P. (2006). Human impacts on the rates of

- recent, present, and future bird extinctions. *PNAS*, *103*, 10941-10946.
- Plasencia, A. H., & Escalona-Segura, G. (2014). Caracterización del área de distribución geográfica potencial de las especies de aves psitácidas de la Península de Yucatán, México. *Revista de Biología Tropical*, *62*, 1509-1522.
- Portillo-Quintero, C., & Sánchez-Azofeifa, G. A. (2010). Extent and conservation of tropical dry forest in the Americas. *Biological Conservation*, *143*, 144-155.
- Rabinowitz, D. (1981). Seven forms of rarity. In H. Synge (Ed.), *Biological aspects of rare plant conservation* (pp. 205-217). Nueva York: John Wiley and Sons.
- Renner, S. C., Waltert, M., & Mühlenberg, M. (2006). Comparison of bird communities in primary vs. young secondary tropical montane cloud forest in Guatemala. *Biodiversity and Conservation*, *15*, 1545-1575.
- Ríos-Muñoz, C. A., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2009). Efectos del cambio de uso de suelo en la disponibilidad hipotética de hábitat para los psitácidos de México. *Ornitología Neotropical*, *20*, 491-509.
- Rivera-Ortiz, F. A., Oyama, K., Ríos-Muñoz, C. A., Solórzano, S., Navarro-Sigüenza, A. G., & Arizmendi, M. C. (2013). Caracterización del hábitat y modelación de la distribución potencial de la guacamaya verde (*Ara militaris*) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *84*, 1200-1215.
- Rojas-Soto, O., Sosa, V., & Ornelas, J. (2012). Forecasting cloud forest in eastern and southern Mexico: conservation insights under future climate change scenarios. *Biodiversity and Conservation*, *21*, 2671-2690.
- Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, P., Linaje, M., Sarkar, S., & Peterson, A. T. (2005). Deforestation and extant distributions of Mexican endemic mammals. *Biological Conservation*, *126*, 465-473.
- Schuchmann, K. L. (1999). Family Trochillidae (Hummingbirds). In J. Del Hoyo, A. Elliot, & J. Sargatal (Eds.), *Handbook of the birds of the world* (pp. 468-680). Barcelona, España: Lynx.
- Stouffer, P. C., & R. O. Bierregaard, Jr. (1995). Effects of forest fragmentation on understory hummingbirds in Amazonian Brazil. *Conservation Biology*, *9*, 1085-1094.
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo* (NOM-059-SEMARNAT-2010). Recuperado de http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf
- Sibley, D. (2003). *The Sibley field guide to birds of western North America*. New York: Alfred A. Knopf, Inc.
- Stiles, F. G. (1981). Geographical aspects of bird lower coevolution with particular reference to Central America. *Annals of Missouri Botanical Garden*, *68*, 323-351.
- Stockwell, D. R. B., & Noble, I. R. (1992). Induction of sets of rules from animal distribution data: A robust and informative method of data analysis. *Mathematics and Computers in Simulation*, *33*, 385-390.
- Stockwell, D. & Peters, D. (1999). The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science*, *13*, 143-158.
- Stotz, D. F., Fitzpatrick, J. W., Parker III, T. A., & Moskovits, D. K. (1996). *Neotropical birds: ecology and conservation*. Chicago, USA: The University of Chicago.
- Tinoco, B. A., Astudillo, P. X., Latta, S. C., & Graham, C. H. (2009). Distribution, ecology and conservation of and endangered Andean hummingbird: the Violet-throated Metaltail (*Metallura baroni*). *Bird Conservation International*, *19*, 63-76.
- Torres, M. G., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2000). Los colibríes de México, brillo de la biodiversidad. *Biodiversitas*, *28*, 1-6.
- Wethington, S. M., & Finley, N. (2009, october). *Addressing hummingbird conservation needs: an initial assessment*. Paper presented at the Fourth International Partners in Flight Conference, McAllen, Texas. Retrieved from http://www.partnersinflight.org/pubs/mcallenproc/articles/PIF09_Monitoring/Wethington%20and%20Finley_PIF09.pdf
- Wethington, S. M., West, G. C., & Carlson, B. A. (2005). Hummingbird conservation: Discovering diversity patterns in southwest USA. In G. J. Gottfried, B. S. Gebow, L. G. Eskew, & C. B. Edminster (Eds.), *Connecting mountain islands and desert seas: biodiversity and management of the Madrean Archipelago* (pp. 162-168). Tucson, AZ.: United States Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, CO.
- Williams-Linera, G., Manson, R. H., & Isunza, E. (2002). La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques*, *8*, 73-89.
- Yáñez-Arenas, C., Mandujano, S., Martínez-Meyer, E., Pérez-Arteaga, A., & González-Zamora, A. (2012). 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. *Theyra*, *3*, 67-79.