

Ecología

## Diversidad, ecología y vulcanismo: los ensamblajes de aves del complejo volcánico de Colima, México

### *Diversity, ecology, and vulcanism: bird assemblages of the Colima Volcanic Complex, Mexico*

Luis Enrique Sánchez-Ramos <sup>a, \*</sup>, Sonia Navarro-Pérez <sup>b</sup>, Rosa Irma Trejo-Vázquez <sup>c</sup>,  
Andrés Lira-Noriega <sup>d</sup>, Emmanuel Guevara-Lazcano <sup>b</sup> y Adolfo G. Navarro-Sigüenza <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Museo de Zoología, Apartado Postal 70-399, 04510 Ciudad de México, México

<sup>b</sup> Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Laboratorio de Ecosistemática, Camino Ramón Padilla Sánchez 2100 Nextipac, 45200 Zapopan, Jalisco, México

<sup>c</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Apartado postal 20-850, 01000 Ciudad de México, México

<sup>d</sup> Instituto de Ecología A.C., Red de Estudios Moleculares Avanzados, Catedrático Conacyt, Carretera antigua a Coatepec 351, El Haya, 91070 Xalapa, Veracruz, México

\*Autor para correspondencia: [sanchez\\_ramos@live.com.mx](mailto:sanchez_ramos@live.com.mx) (L.E. Sánchez-Ramos)

Recibido: 22 marzo 2021; aceptado: 20 octubre 2021

#### Resumen

Los procesos ecológicos determinísticos son fundamentales en la estructuración del ensamblaje de aves del complejo volcánico de Colima, el cual destaca por su alto endemismo, migración y recambio taxonómico, además por su actividad volcánica, gradiente altitudinal y tipos de vegetación. El objetivo de este trabajo fue describir la diversidad de aves del complejo volcánico de Colima y los mecanismos ecológicos y biogeográficos que estructuran su composición, a partir de datos de incidencia y variables ambientales. Los resultados muestran que el riesgo volcánico, la altitud y la orientación cardinal son las variables explicativas de los patrones de riqueza. Se registraron 397 especies de las cuales 248 (62.5%) son residentes, 149 (37.5%) son migratorias y 89 (22.4%) tienen alguna categoría de endemismo. Existe una alta disimilitud ( $\beta_{\text{SOR}} = 0.907$ ), causada por un alto recambio de especies ( $\beta_{\text{SIM}} = 0.749$ ). La afinidad biogeográfica mejor representada es el dominio mesoamericano con 41-47% de las especies residentes. Se concluye que los procesos ecológicos y biogeográficos son los que estructuran a la avifauna regional y se provee un primer acercamiento a la comprensión de la actividad volcánica como un mecanismo activo en la dinámica biológica regional.

*Palabras clave:* Actividad volcánica; Gradiente ambiental; Mecanismos ecológicos; Mosaico sucesional; Occidente de México

## Abstract

Deterministic processes are fundamental in structuring the bird assemblages of the Colima Volcanic Complex, an area of high endemism, migration, and taxonomic turnover, but also for its volcanic activity, complex elevational gradient, and vegetation types. Herein we describe the bird assemblages of Colima Volcanic Complex and the ecological and biogeographical mechanisms that structure the species composition, based on incidence data and environmental variables. The results show that volcanic risk, elevational gradient, and cardinal orientation, are the explicative variables of the species richness patterns. A total of 397 species were recorded; 248 (62.5%) of which are residents, 149 (37.5%) are migratory, and 89 (22.4%) are in some category of endemism. There is a high dissimilarity ( $\beta_{\text{SOR}} = 0.907$ ) caused by a high taxonomic turnover ( $\beta_{\text{SIM}} = 0.749$ ). The most represented biogeographical affinity is the Mesoamerican domain with 41-47% of the resident species. We conclude that ecological and biogeographical processes structure the regional avifauna, providing a first approach to the understanding of volcanic activity as an active mechanism in the regional biological dynamics.

*Keywords:* Volcanic activity; Environmental gradient; Ecological mechanisms; Successional mosaic; Western Mexico

## Introducción

Los procesos ecológicos determinísticos de selección, especiación y dispersión son fundamentales en la estructuración de los ensamblajes locales de aves (Fukami, 2015; Vellend, 2010). Algunos mecanismos de selección como la variación ambiental (e.g., temperatura y precipitación; Körner, 2012), las interacciones interespecíficas (e.g., competencia y migración; Greenberg, 1986), la perturbación antropogénica (e.g., deforestación) y eventos estocásticos (e.g., las erupciones volcánicas; Crisafulli et al., 2015; Sergio et al., 2018), afectan a las comunidades biológicas y actúan como un filtro ecológico a través de gradientes ambientales limitando la colonización o conduciendo a la extinción local de especies (Fukami, 2015; Kraft et al., 2015; Ricklefs, 1987; Shipley, 2010). La especiación y la dispersión, por su parte, tienen un papel importante en la incorporación de especies al ensamblaje a través de la aparición de nuevas especies y la colonización continua por especies del pool regional, lo que conduce a un cambio constante de las interacciones interespecíficas (Fukami, 2015; Vellend, 2010).

En las montañas tropicales, los mecanismos de selección asociados con gradientes ambientales que varían con la elevación, como la temperatura y precipitación, además de otros factores como la productividad, la complejidad topográfica, factores evolutivos y las interacciones bióticas, son determinantes importantes de los patrones de distribución de las especies (Rapoport, 1975; McCain y Grytnes, 2010). A partir de éstos, se han estudiado diversos patrones de la distribución de especies de acuerdo con la variación en la altitud, que incluyen el decremento lineal de la riqueza hacia elevaciones mayores, meseta de riqueza en altitudes bajas, pico de riqueza en altitudes medias, y meseta en altitudes bajas con pico en altitudes medias (McCain, 2004; McCain y Grytnes, 2010,

Montaño-Centellas et al., 2019; Rahbek, 1997). Algunas variables climáticas, como la temperatura, responden de forma inversamente proporcional con respecto a la altitud (Körner, 2012). De manera general y dependiendo de las particularidades topográficas del sitio, las condiciones climáticas extremas en las cumbres de las montañas actúan como un filtro ecológico, influyendo en las condiciones del suelo y a su vez en la estructura de los bosques, misma que es menos compleja y por lo tanto la disponibilidad de recursos como refugio y alimento son limitados (Hanz et al., 2019; Terborgh, 1977; Villalobos, 2021). Este filtro ecológico conduce también al agrupamiento filogenético en los ensamblajes de tierras altas (Graham et al., 2014; Montaño-Centellas et al., 2019), mientras que la limitación de recursos lleva a una mayor competencia dando como resultado patrones de exclusión competitiva (Hanz et al., 2019; Montaño-Centellas et al., 2019).

Algunas montañas tienen la particularidad de ser volcanes activos, lo que agrega al sistema factores adicionales como el disturbio natural por la deposición de diferentes materiales volcánicos como lava, ceniza o flujo piroclástico (Crisafulli et al., 2015; Dalsgaard et al., 2007; Sergio et al., 2018). Desde el punto de vista antropogénico, es posible distinguir también diferentes tipos de perturbación a lo largo de gradientes altitudinales, los cuales intervienen en la estructuración de los ensamblajes de aves y otros organismos (e.g., agricultura en las zonas bajas y extracción de madera en las zonas altas; Schnell et al., 1974), y se encuentran frecuentemente distribuidos en un mosaico de parches de vegetación en diferentes estadios de sucesión ecológica (Chesson y Huntly, 1997).

El complejo volcánico de Colima (CVC de aquí en adelante) se ubica en el occidente de México dentro de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT; Capra et al., 2015; Maarse et al., 2012; López-Loera et al. 2011). En un contexto biogeográfico y ecológico, el CVC forma parte

de la provincia biótica del Eje Volcánico Transmexicano (Morrone, 2001) y de la ecorregión Sistema Neovolcánico Transversal (Olson et al., 2001). Colinda con las provincias bióticas Sierra Madre del Sur, Depresión del Balsas y Costa Pacífica Mexicana (Morrone, 2001) y con las ecorregiones Planicies y colinas costeras del Pacífico sur mexicano, Sierra Madre del Sur y Altiplano mexicano (Olson et al., 2001). Está formado por 2 elevaciones mayores, el nevado y el volcán de Colima, y un conjunto de pequeños volcanes circundantes (Saucedo et al., 2010), que se localizan dentro del área considerada como la provincia fisiográfica Volcanes de Colima (Cervantes-Zamora et al., 1990).

El volcán de Colima es uno de los volcanes más activos de Norteamérica y tiene un ciclo de aproximadamente un siglo que culmina con una erupción de tipo subpliniano a pliniano (Reyes-Dávila et al., 2016). Desde finales del siglo pasado presentó actividad constante hasta que en 2015 tuvo lugar la erupción de mayor escala desde 1913, cerrando su ciclo (Capra et al., 2016; Reyes-Dávila et al., 2016). Esta identidad fisiográfica, ecológica y biogeográfica contribuye a la alta diversidad de tipos de vegetación que contienen elementos que lo diferencian de las sierras circundantes como el zacatonal alpino, propio de las altas montañas (Maarse et al., 2012). Además, debido a la complejidad de su topografía, historia geológica y paleoclimática, que han promovido eventos de diferenciación y especiación recientes (e.g., avifauna de selva baja caducifolia, Castillo-Chora et al., 2021; mastofauna de bosques templados, Gámez et al., 2012), la FVT es reconocida como un centro de diversificación y endemismo de diversos taxones (Luna-Vega et al., 2007). También es considerada una de las más importantes regiones de transición biogeográfica de la biota mesoamericana (Halffter, 1976), donde además confluyen especies con diversos corotipos (i.e., agrupamientos de especies con patrón similar de distribución y requerimientos ambientales similares; Ferro et al., 2017; Morrone y Escalante, 2011; Navarro-Sigüenza et al., 2018).

La avifauna de la región es sobresaliente y resalta, en especial, por la riqueza de especies endémicas (hasta 47 por km<sup>2</sup>; e.g., *Dendrotyx macroura*, *Cardellina rubra*, *Pheugopedius felix*; Navarro-Sigüenza et al., 2007, 2014; Ricklefs, 1987) y la riqueza y densidad de aves migratorias neárticas (e.g., *Cardellina pusilla*, *Leiothlypis crissalis*; Hutto, 2010). Desde el siglo XIX, el CVC ha despertado el interés de los ornitólogos, pues los registros más antiguos datan de ejemplares de 1863 y de 1888-1898 depositados en su mayoría en el National Museum of Natural History (Washington, DC, EUA) y en el Natural History Museum (Tring, Reino Unido) (Navarro-Sigüenza et al., 2002, 2003). A partir de la segunda mitad del siglo XX, en cada

década se ha publicado al menos un trabajo que cubre alguno de los diferentes aspectos de la avifauna, como por ejemplo la composición y riqueza de especies (Schaldach, 1963), los efectos de la perturbación antropogénica a causa de la deforestación para la fabricación de papel (Chávez-Hernández, 2009; Schnell et al., 1974) y la selección de hábitat de varias especies a través del gradiente altitudinal (Cody, 1985). Además, se ha publicado información sobre las aves que anidan en cavidades en el nevado de Colima, reportes de una población invernal de *Junco hyemalis* y sobre la capacidad digestiva de los colibríes (Maya-García, 2014; Monterrubio-Rico y Escalante, 2006; Langle-Flores et al., 2011).

Finalmente, el área ha formado parte de diversos esfuerzos de priorización de áreas de conservación a escala nacional e internacional. Se ha denominado al CVC como Región Terrestre Prioritaria para la Conservación (Arriaga et al., 2000), como Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA; Comisión para la Cooperación Ambiental, 1999; Arizmendi y Márquez-Valdelamar, 2000) y como Área Global de Aves Endémicas (EBA: Sierra Madre Occidental and trans-Mexican range; BirdLife International, 2019). En la parte baja de la zona se encuentra con el sitio Ramsar “Laguna de Zapotlán” (<https://rsis.ramsar.org/ris/1466>). Todas estas priorizaciones reforzaron la denominación oficial de las áreas naturales protegidas Parque Nacional Volcán Nevado de Colima (Conanp, 2006; DOF, 1936) y Parque Estatal Mesófilos del Nevado de Colima (Gobierno de Jalisco, 2009).

Estos datos muestran la complejidad ecológica y biogeográfica del CVC, sin embargo, la mayoría de estos estudios son puramente descriptivos. El objetivo de este trabajo fue analizar el ensamblaje de aves del CVC a través de sus patrones de riqueza y distribución, el recambio de especies, su afinidad biogeográfica, la representatividad del endemismo, especies migratorias y especies protegidas, así como la importancia de los mecanismos de selección y las variables ambientales en el patrón de la riqueza específica. Para esto, se determinaron como objetivos específicos: 1) obtener una lista actualizada de las especies de aves del CVC a través de las diversas fuentes de información disponibles; 2) describir los patrones de diversidad alfa, beta y gamma de la avifauna; 3) analizar los patrones de afinidad biogeográfica a través del reconocimiento de corotipos; y 4) explorar la influencia del peligro volcánico y otras variables ambientales sobre la riqueza de especies. Esta contribución servirá como base para abordar preguntas más específicas sobre la respuesta de las aves a eventos estocásticos como las erupciones volcánicas, los efectos de la perturbación antropogénica y la relevancia del CVC en temas de conservación.

## Materiales y métodos

El CVC se localiza entre Jalisco y Colima, México, con coordenadas extremas: 19°40' N, -103°25' O y 19°22' N, -103°49' O (fig. 1). Las prominentes montañas de este complejo volcánico son las más altas en el occidente de México, el nevado de Colima alcanza los 4,270 m y el volcán de Colima los 3,840 m (Conanp, 2006). En un gradiente altitudinal cuya diferencia supera los 3,000 m entre los valles y la cumbre, el CVC presenta varios tipos de vegetación que siguen un patrón determinado por la altitud y la orientación geográfica (Maarse et al., 2012). En la cara norte del CVC predomina la vegetación asociada con ambientes templados, en contraste con la cara sur donde se establece la vegetación con afinidad tropical (Maarse et al., 2012). Asociado con la altitud encontramos diferentes actividades antropogénicas, por ejemplo, la agricultura se desarrolla por debajo de los 2,100-2,300 m y la explotación maderera por encima de esta cota (Chávez-Hernández, 2009). Además, la intensa actividad volcánica provoca disturbios de diferente intensidad a lo largo del CVC (Capra et al., 2015). Al sur del volcán,

entre 8 y 15 km de distancia al cráter, la biota puede ser incinerada o sepultada por completo debido a la lava, el flujo piroclástico y las avalanchas de escombros. Por las barrancas pueden descender flujos de lodo o lahares que remueven la vegetación. Por último, la ceniza puede cubrir la vegetación en grandes extensiones de superficie (Capra et al., 2015; Crisafulli et al., 2015; Sergio et al., 2018).

En este trabajo se utilizó la clasificación de la cobertura de uso de suelo y vegetación (USV) propuesta por el INEGI en la serie VI (2016), y solamente se usaron los polígonos que contienen a nuestros registros de aves. Se distinguen 6 tipos de vegetación en el CVC: selva baja caducifolia, bosque mesófilo de montaña, bosque de pino-cedano, bosque de oyamel, bosque de pino y pradera de alta montaña. Esta clasificación también distingue los niveles de perturbación (vegetación primaria y secundaria) y uso de suelo (e.g., agricultura y urbano). Esto ofrece ventajas para la zonificación y organización de los registros de aves bajo un aspecto ambiental, de manera que pueden relacionarse con las 16 categorías de uso de suelo y vegetación que existen dentro de los 32 polígonos que integran la cobertura USV (apéndice 1).

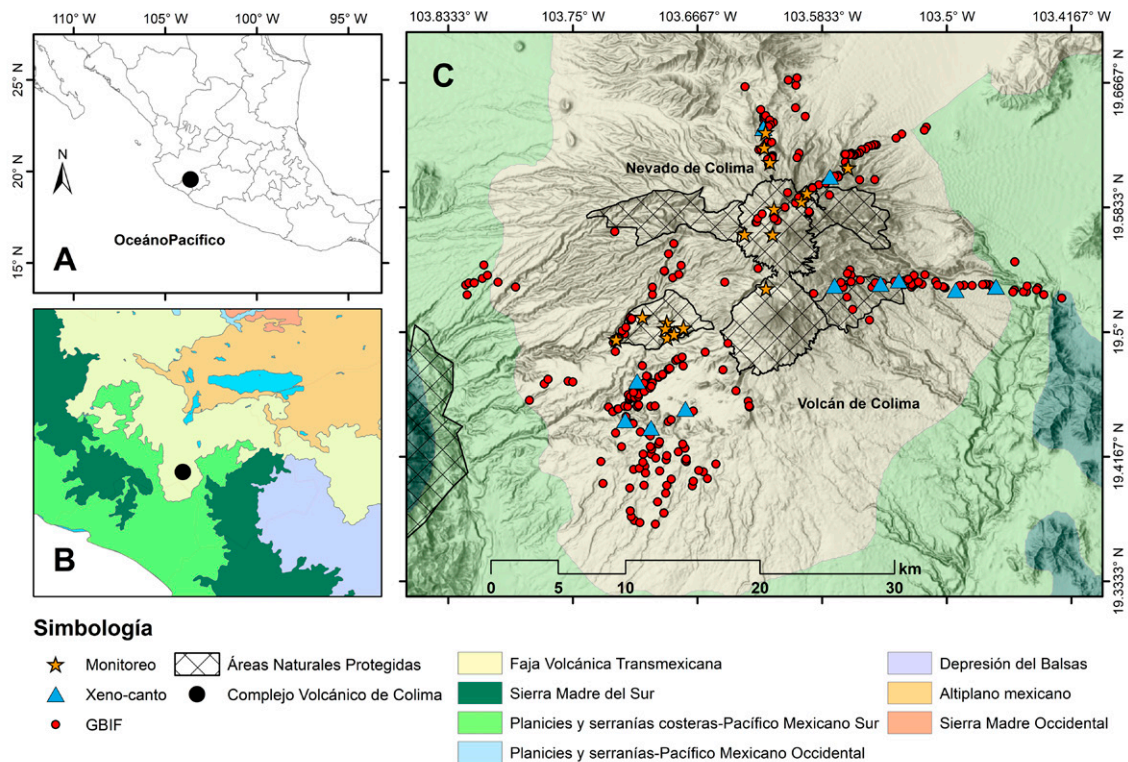


Figura 1. Área de estudio. Mapa A, ubicación del CVC dentro de México. Mapa B, se observa la colindancia del CVC con otras ecorregiones. Mapa C, complejo volcánico de Colima y distribución de las presencias de acuerdo con el origen de los datos.

Posteriormente, en un sistema de información geográfica (SIG) (ArcMap 10, Environmental Systems Research Institute Inc., 2010) se calculó el perímetro, el área y el efecto de borde (relación perímetro/área del polígono) de cada uno de los polígonos seleccionados. También se extrajeron valores de capas climáticas en formato ráster para complementar las características ambientales de los polígonos. Las variables climáticas utilizadas fueron la temperatura mínima, la temperatura máxima, temperatura media (<https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>), precipitación anual y altitud (<http://ri.atmosfera.unam.mx:8586/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/home>). Adicionalmente, se consultó el mapa de peligro volcánico del volcán de Colima (<http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/peligros-colima.html>). Para el caso de las temperaturas, precipitación, altitud y peligro volcánico, por ser datos continuos y no uniformes en la extensión de los polígonos, se calculó la media de cada variable a partir de 100 puntos aleatorios dentro de cada polígono. El resto de las variables son categóricas y uniformes a lo largo de cada polígono. Por último, se asignó un nivel de perturbación a partir del USV, donde la vegetación primaria tiene un nivel bajo, la vegetación secundaria un nivel medio y, la agricultura y las zonas urbanas un nivel alto.

La base de datos de aves del CVC cuenta con 34,734 registros, conformados por 5,172 procedentes de monitoreo con redes de niebla y puntos de conteo obtenidos entre los años 2005 y 2018 (Ralph et al., 1996). También se cuenta con 29,422 registros de ejemplares de 17 colecciones científicas del período 1863 a 2006 y observaciones entre 1949 y 2018 (Global Biodiversity Information Facility, 2018), así como 140 registros provenientes de grabaciones de cantos entre 2001 y 2017 (Xeno-canto Foundation, <https://www.xeno-canto.org/>, consultado el 31 de julio de 2018). El listado completo de registros y fuentes obtenidos de GBIF se encuentra en la liga <https://doi.org/10.15468/dl.wn32m0>. Se depuró la base de datos eliminando los registros sin referencia geográfica o ubicados fuera del área de interés, así como aquellas especies cuya presencia es poco probable dadas sus preferencias de hábitat, apoyados con literatura especializada y nuestros datos de monitoreo (Howell y Webb, 1995; Stotz et al., 1996).

Para reducir sesgos dada la amplia temporalidad de los registros, para los análisis estadísticos solo se utilizaron los datos a partir del año 2000. Debido a los distintos esfuerzos de muestreo relacionados con los diferentes métodos de recolección de datos aplicados, se eliminaron los duplicados especie-polígono-muestreo para tener solo las incidencias. Se utilizó la nomenclatura propuesta por el International Ornithological Committee, (IOC, Gill et al., 2020) para identificar y organizar taxonómicamente a las

especies. Esta taxonomía destaca a las especies endémicas al reconocer como especies a unidades evolutivas alopátricas que no son consideradas como tales bajo otras clasificaciones (Gill et al., 2020; Navarro-Sigüenza y Peterson, 2004; Peterson y Navarro-Sigüenza, 2009).

Los campos de la base de datos incluyen el nombre de la especie, fecha del registro o colecta y coordenadas geográficas, el estatus de residencia (residentes y migratorias; Berlanga et al., 2019), de endemismo (endémicas, semiendémicas y cuasiendémicas; *sensu* González-García y Gómez de Silva, 2002), categorías de conservación de IUCN y NOM-059 (Berlanga et al., 2019; Semarnat, 2010), y afinidad biogeográfica (Neártica, Neotropical y Mesoamericano; Gill et al., 2020; Navarro-Sigüenza et al., 2018; Savage, 1966, 1982). Los registros se integraron en el SIG y se sobrepusieron con la cobertura de USV lo que permitió relacionar cada registro con un polígono de la cobertura y sus características ambientales.

*Diversidad alfa, beta y gamma.* Se construyeron matrices de incidencias (especies x muestreos) para cada polígono de USV y para el CVC, considerando como unidad de muestreo los días de registros en campo. La diversidad  $\alpha$  se estableció como el número de especies en cada polígono y esas riquezas se proyectaron en el SIG para visualizar su patrón espacial. Debido al sesgo ocasionado por el esfuerzo de muestreo desigual entre polígonos, la diversidad  $\alpha$  se homogeneizó a 10 muestreos usando EstimateS v.9.1 (Colwell, 2013; Gotelli y Colwell, 2001; Pineda y Moreno, 2015). Con las matrices obtenidas de EstimateS v.9.1 se calcularon los intervalos de confianza al 84% para comparar con mayor robustez la riqueza de especies entre los diferentes polígonos (MacGregor y Payton, 2013). La diversidad  $\gamma$  se tomó como la riqueza total en el CVC. La riqueza esperada del pool regional se calculó a partir del estimador no paramétrico basado en datos de incidencia ICE (Incidence Coverage Estimator; Chazdon et al., 1998; Colwell, 2013). Este estimador ha mostrado resultados satisfactorios con diferentes tamaños de muestra y diferentes taxones (Chazdon et al., 1998; Vázquez-Reyes et al., 2018).

Evaluamos la tasa de cambio (diversidad  $\beta$ ) entre los ensamblajes de los polígonos partiendo de una matriz de incidencias (polígonos x especies) (Koleff et al., 2003; Moreno, 2001). Se calculó el índice de disimilitud de Sorensen por pares de polígonos y entre el nevado y el volcán, además, de la disimilitud general del CVC usando la diversidad beta total ( $\beta_{SOR}$ ). Debido a que la disimilitud se puede componer por el recambio y la pérdida de especies, también se calculó el recambio espacial ( $\beta_{SIM}$ ) y el anidamiento ( $\beta_{NES}$ ; Baselga, 2010). Con la matriz del índice de disimilitud de Sorensen por pares se agruparon los polígonos a través del método de Ward (Murtagh y

Legendre, 2014; Palacio et al., 2020). Estos análisis se desarrollaron en R 4.0.3, con la paquetería “betapart” (Baselga y Orme, 2012) y se proyectaron en el SIG.

Bajo la hipótesis que las aves mantienen el patrón de la vegetación, predominando especies de ambientes templados al norte (nevado) y especies de ambientes tropicales al sur (volcán; Maarse et al., 2012), procedimos a comparar las afinidades biogeográficas de las especies de aves que habitan cada montaña. Las afinidades biogeográficas son los corotipos, es decir, el área de distribución geográfica no azarosa y coincidente entre especies (Morrone y Escalante, 2011). En este caso, asignamos las afinidades biogeográficas a partir de las regiones (Neártica, NA y Neotropical, NT) o dominios (Mesoamericano, MA) donde habita cada especie (Ferro et al., 2017; Morrone y Escalante, 2011; Navarro-Sigüenza et al., 2018). Las especies presentan 5 patrones: afinidad 1, MA; afinidad 2, NA; afinidad 3, NA-MA; afinidad 4, NA-MA-NT y afinidad 5, MA-NT.

Clasificadas las especies por afinidades biogeográficas, se compararon los ensamblajes entre el nevado y el volcán. Se generaron gráficas radiales para contrastar entre montañas la afinidad biogeográfica de las especies residentes, migratorias y en su conjunto. Para este análisis se consideraron migratorias a todas las especies que realizaran desplazamientos estacionales, a pesar de que puedan ser residentes en el CVC, debido a que la migración influye en su corotipo. Se realizó una prueba de  $\chi^2$  para cada uno de los 3 escenarios.

A partir de modelos lineales (LM) se buscó determinar la influencia relativa de las variables ambientales sobre la riqueza específica. Se usaron las riquezas de especies homogeneizadas a 10 muestreos y las 12 variables ambientales asociadas a los polígonos: tipo de vegetación, nivel de perturbación, perímetro, área, efecto de borde, orientación cardinal, temperatura mínima, temperatura media, temperatura máxima, precipitación anual, altitud y peligro volcánico. No se consideraron los polígonos 2, 7, 11, 15, 19 y 32 porque tienen solo 3 muestreos y los resultados de la extrapolación no son confiables. Los valores de las variables para cada polígono se compilaron en una matriz y se realizó un análisis de correlación de Spearman en R 4.0.3 (R Core Team, 2020) para detectar variables altamente correlacionadas y evitar considerarlas en un mismo modelo.

Los LM se calcularon en conjuntos de variables a través de algoritmos de selección automática (Derksen y Keselman, 1992; Johnson & Omland, 2004; Whittingham et al., 2006; Zhang, 2016). Debido a que cada variable interactúa de forma distinta con la riqueza de especies, se usaron coeficientes cuadráticos para la altitud y las temperaturas y coeficientes lineales para el resto de las

variables (Montaño-Centellas et al., 2019). Los algoritmos de selección automática utilizados son “forward selection”, “backward elimination” y “stepwise selection” (Derksen & Keselman, 1992; Zhang, 2016). Se consideraron 4 parámetros para evitar los sesgos en la estimación, interpretación y selección del mejor modelo (Derksen y Keselman, 1992; Johnson y Omland, 2004; Whittingham et al., 2006): a) los modelos se diseñaron a partir de todas las combinaciones posibles donde se incluyeran el máximo número de variables no correlacionadas y se excluyeron las variables correlacionadas correspondientes. En cada modelo se intercambia una de las variables correlacionadas para evitar que interfieran entre ellas; b) se usaron coeficientes lineales y cuadráticos de acuerdo con la relación de la variable dependiente con cada una de las variables independientes; c) cada modelo se analizó bajo los 3 algoritmos de selección automática; d) los mejores modelos se eligieron por su valor BIC (criterio de información bayesiano). Además, los modelos resultantes solo consideran las variables que son significativas individualmente dentro del modelo, según su valor de  $p$  (Cortés-Ramírez et al., 2019; Zhang, 2016).

## Resultados

La base de datos depurada está compuesta por 20,396 registros de presencia distribuidos en 762 días de muestreo entre los años 2000 y 2018, con un total de 21 órdenes, 62 familias y 397 especies registradas en el CVC (tabla 1; apéndice 2). El estimador no paramétrico ICE muestra que podrían habitar hasta 415-416 especies en el CVC, por tanto, registramos 95.48% de las especies potenciales. Si se analiza por separado a las montañas, encontramos que el nevado de Colima tiene 276 especies (156 residentes, 59 con grado de endemismo, 1 exótica y 120 migratorias) y el volcán de Colima 386 (245 residentes, 88 con algún grado de endemismo, 2 exóticas y 141 migratorias).

La riqueza de especies comparada entre polígonos mostró marcadas diferencias. La riqueza de especies sin homogeneizar fluctuó entre  $5 \pm 1.94$  especies en el polígono 18 ocupado por agricultura, hasta  $307 \pm 9.27$  en el 8, ocupado por bosque de pino-encino. Con la riqueza de especies homogeneizada a 10 muestreos, el número de especies por polígono osciló desde  $8.37 \pm 6.84$  en el polígono 18 hasta  $82.4 \pm 5.9$  en el polígono 16, que corresponde a bosque de pino y  $82.6 \pm 7.16$  en el polígono 24 cubierto por vegetación secundaria de bosque de pino (fig. 2).

De las 397 especies en el CVC, 248 son residentes (62.5% del total) y 149 son migratorias (37.5%) (tabla 1; apéndice 1). Se registraron un total de 89 especies en alguna categoría de endemismo (22.4%; tabla 2), de las cuales 48 son endémicas (END, 12%), 28 semiendémicas

(SE, 7%) y 13 cuasiendémicas (CE, 3.2%). Con respecto a su estatus de protección, 55 especies (13.8%; tabla 2) se encuentran bajo la NOM-059-SEMARNAT-2010 y, de éstas, 6 se encuentran en peligro de extinción (P), 33 bajo protección especial (PR) y 16 están amenazadas (A). Adicionalmente, en la Lista Roja de IUCN hay 12 especies (3%; tabla 2), descartando a las especies consideradas en preocupación menor (LC), de las cuales 8 están casi amenazadas (NT), 2 son vulnerables (VU) y 2 están en peligro de extinción (EN).

Las especies protegidas representan a 15 de los 21 órdenes registrados, siendo los más representativos: Accipitriformes con 15 especies, Passeriformes con 12, Psittaciformes con 6 y Strigiformes con 5. Entre la avifauna protegida tienen prioridad las 6 especies en peligro de extinción que habitan en el CVC (NOM-059-SEMARNAT-2010), *Rhynchopsitta pachyrhyncha* (EN; UICN), *Amazona finschi* (EN), *Ara militaris* (VU), *Vireo atricapilla* (VU), *Amaurospiza concolor* (LC) y *Rallus tenuirostris* (NT). *Amaurospiza concolor* está en la misma situación que otras 45 especies que solo están protegidas por las autoridades mexicanas (apéndice 2). *Rallus tenuirostris* es una especie acuática que se ha registrado en las lagunas de las partes bajas del CVC. En general, las especies con categoría de endemismo y las

especies protegidas se concentran en el bosque mesófilo de montaña (40 especies END, 25 SE, 12 CE, 3 P, 20 PR, 14 A, 5 NT, 2 VU y 1 EN), en el bosque de encino (35 END, 22 SE, 11 CE, 3 P, 10 PR, 6 A, 5 NT, 1 VU y 1 EN) y en el bosque de pino-encino (33 END, 27 SE, 10 CE, 3 P, 20 PR, 14 A, 5 NT, 1 VU y 2 EN).

La diversidad beta total indica una alta disimilitud entre todos los polígonos ( $\beta_{SOR} = 0.907$ ), que es causado por un alto recambio de especies ( $\beta_{SIM} = 0.749$ ) y un bajo anidamiento ( $\beta_{NES} = 0.158$ ) representado en el patrón del dendrograma (fig. 3; ver análisis de correlación espacial, apéndice 3). La disimilitud entre el nevado y el volcán es baja ( $\beta_{SOR} = 0.199$ ), al igual que el recambio ( $\beta_{SIM} = 0.039$ ) y el anidamiento ( $\beta_{NES} = 0.159$ ), contrastando con la comparación entre todos los polígonos. En el dendrograma se distinguen 2 bloques, uno formado por los grupos A-B-C-D-E que integran a la mayoría de los polígonos que han sido transformados por la agricultura y espacios urbanos y, por otro lado, los grupos F-G-H-I-J, compuestos principalmente por polígonos cubiertos con vegetación conservada y vegetación secundaria. Dentro del bloque A-B-C-D-E, primero se separa el grupo E ocupado por agricultura de temporal. La configuración del resto del bloque es un anidamiento, donde los grupos C y D son los más similares entre sí, ambos con polígonos

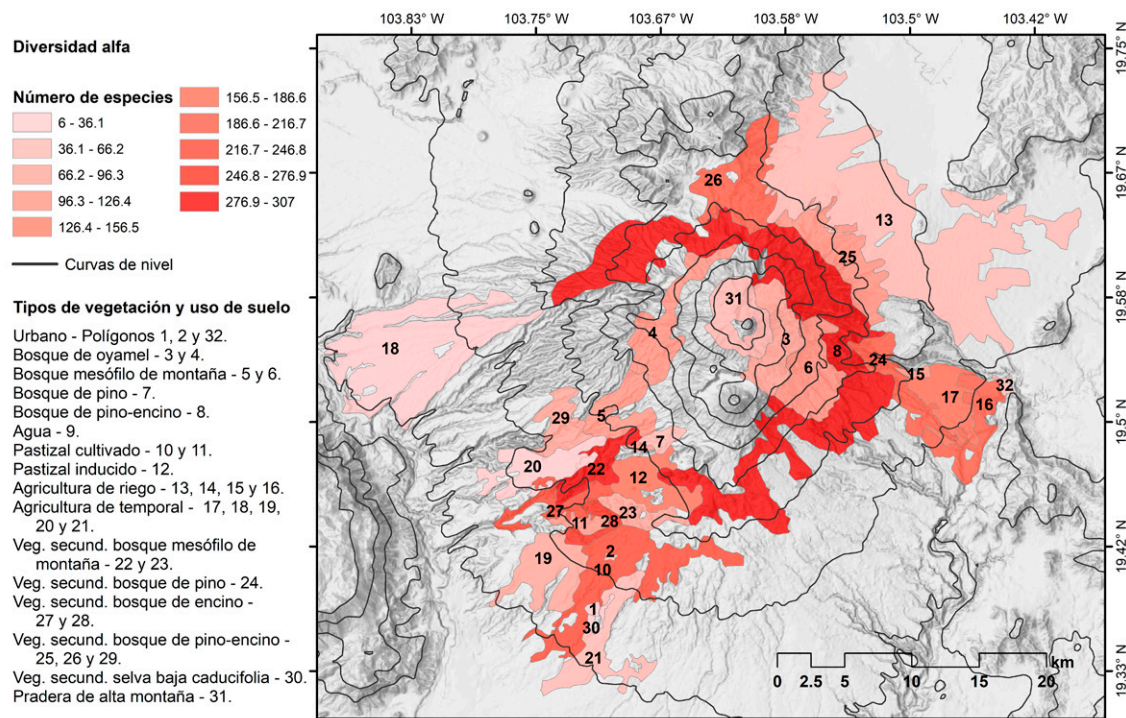


Figura 2. Riqueza de especies por polígono.

Tabla 1

Número total de especies por orden y sus estatus de endemismo y conservación.

Orden	Total de especies	Especies endémicas	Especies en la NOM-059	Especies en UICN
Accipitriiformes	24	0	15	0
Anseriformes	15	0	0	0
Apodiformes	26	12	3	0
Caprimulgiformes	6	1	1	0
Charadriiformes	13	0	0	0
Ciconiiformes	1	0	1	0
Columbiformes	11	0	0	0
Coraciiformes	4	1	0	0
Cuculiformes	5	0	0	0
Falconiformes	7	0	2	0
Galliformes	6	3	3	1
Gruiformes	5	1	2	1
Passeriformes	217	59	12	5
Pelecaniformes	15	0	1	0
Piciformes	12	3	1	0
Podicipediformes	2	0	1	0
Psittaciformes	6	3	6	4
Strigiformes	16	4	5	1
Suliformes	1	0	0	0
Tinamiformes	1	0	1	0
Trogoniformes	4	2	1	0
Total	397	89	55	12

de altitudes bajas (~ 1,000-2,000 m snm). Por su parte, el grupo A es un polígono urbano y el grupo B tiene polígonos cubiertos por vegetación secundaria de selva baja caducifolia y bosque de pino. En el otro bloque hay 2 sub-bloques formados por los grupos F-G y H-I-J. Los grupos F y G son los más similares del dendrograma con una combinación de polígonos adjuntos que presentan agricultura, vegetación secundaria y bosques conservados localizados en altitudes medias (~ 1,500-3,000 m snm). Los grupos H-I-J tienen polígonos de altitudes medias y altas (~ 2,500-4,000 m snm) con bosques de coníferas, bosques mesófilos y pradera de alta montaña.

Si se considera únicamente a las especies residentes, los ensamblajes tienen mayor afinidad con el dominio Mesoamericano. En el nevado se encuentran 50 especies exclusivas de este dominio (41.6% de su avifauna), mientras

Tabla 2

Categorías de endemismo y protección. Número de especies en el CVC y por montaña.

Categoría	CVC	Nevado	Volcán
Endemismos			
END - endémicas	48	23	48
SE - semiendémicas	28	27	27
CE - cuasiendémicas	13	9	13
NOM-059-SEMARNAT-2010			
P - peligro de extinción	6	1	6
PR - protección especial	33	15	33
A - amenazada	16	9	13
IUCN			
NT - casi amenazada	8	4	7
VU - vulnerable	2	0	2
EN - en peligro de extinción	2	1	2

que en el volcán hay 95 (47%) pero, con diferencias significativas (fig. 4). Las especies migratorias también presentan diferencias significativas (fig. 4), en ambas montañas la afinidad NA-MA es la más representativa, en el nevado con 77 especies (49.67%) y en el volcán con 87 (47.8%). En las avifaunas totales no hay diferencias significativas (fig. 4) y sugiere un patrón de distribución parcialmente concordante con la vegetación. La presencia de especies migratorias denota un incremento en la proporción de especies con distribución total o parcial en el Neártico (afinidades NA, NA-MA, NA-MA-NT). En el nevado pasan de representar el 44.16% (53 especies) al 73.45% (202) y en el volcán del 33.16% (67) al 62.76% (241) lo que aumenta la similitud entre los ensamblajes de ambas montañas (fig. 4). Por su parte, con distribución total o parcial en el Neotrópico (MA y MA-NT) bajan su representatividad en ambas montañas, en el nevado del 55.83% (67 especies) al 26.54% (73) y en el volcán del 66.83% (135) al 37.23% (143). La razón Neártico/Neotrópico para el nevado es 2.76 y para el volcán 1.68, es decir, el Neártico es más representativo en el nevado sin mostrar diferencias significativas.

En el análisis de correlación encontramos 2 grupos de variables que tienen una relación por encima de 0.8 (fig. 5). Por un lado, se agrupan las variables altitud, temperatura media anual, temperatura mínima anual y temperatura máxima anual, y el otro conjunto lo conforman el área del polígono, el perímetro del polígono y el efecto de borde (fig. 5). Se obtuvieron 12 modelos que incorporan el mayor número de variables no correlacionadas, manteniendo como



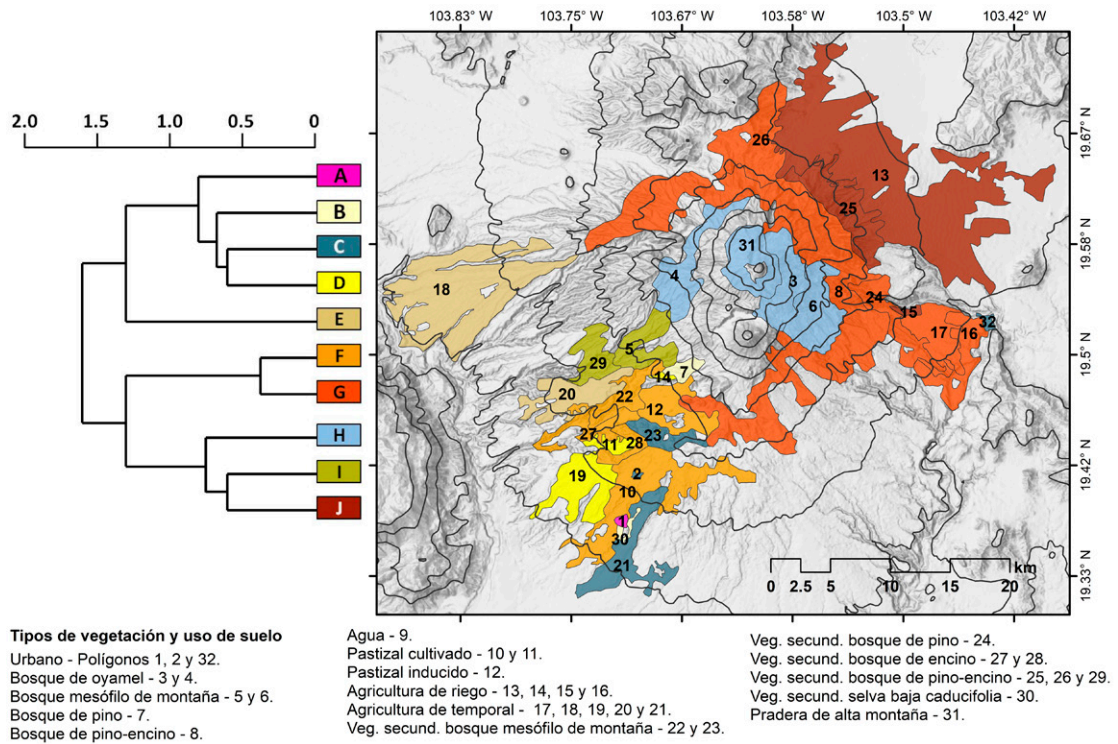


Figura 3. Dendrograma de similitud. Los polígonos están representados con el mismo color que el grupo al que pertenecen en el dendrograma.

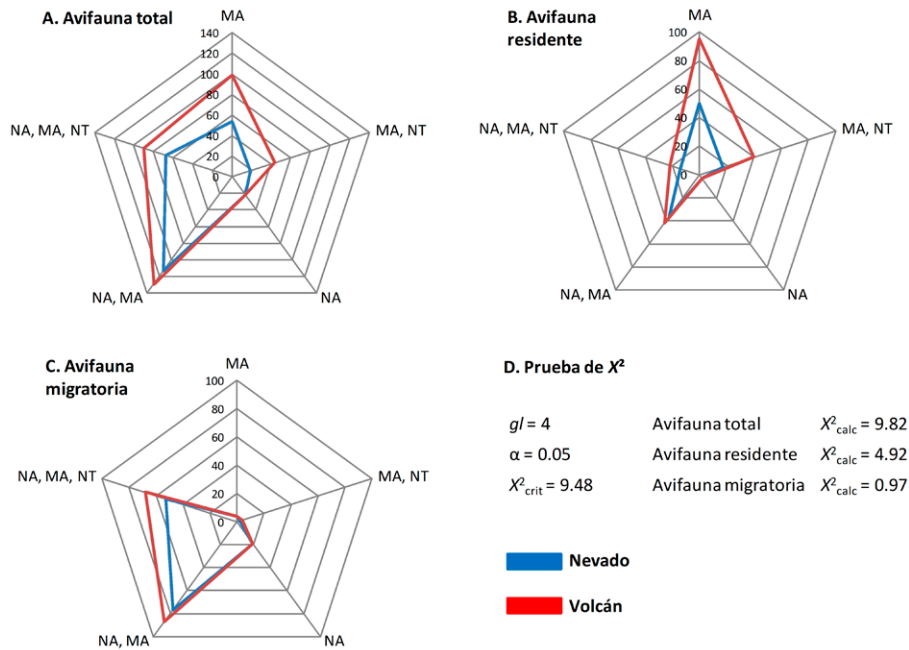


Figura 4. Afinidad biogeográfica. Comparación entre la riqueza de especies de cada montaña según su afinidad biogeográfica.

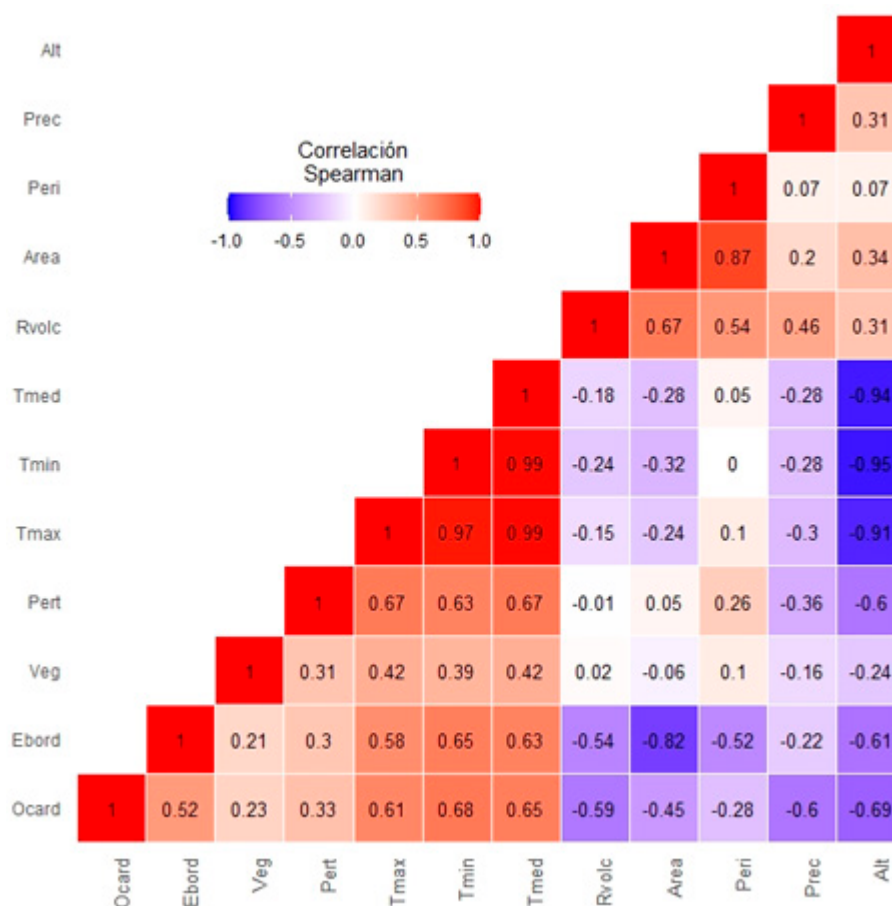


Figura 5. Correlación de variables. Alt = Altitud, Prec = precipitación, Peri = perímetro del polígono, Area = área del polígono, Rvolc = peligro volcánico, Tmed = temperatura media, Tmin = temperatura mínima, Tmax = temperatura máxima, Pert = perturbación, Veg = vegetación, Ebord = efecto de borde, Ocard = orientación cardinal.

constantes a la precipitación media anual, perturbación, tipo de vegetación, orientación y el peligro volcánico y, alternando a las variables correlacionadas considerando una variable de cada grupo, para cada uno de los modelos. El análisis de los 12 modelos bajo los 3 algoritmos de selección automática sugieren que el mejor modelo parte de la fórmula precipitación media anual + perturbación + tipo de vegetación + orientación + peligro volcánico + altitud + efecto de borde. Bajo los algoritmos “forward selection” y “stepwise selection” posee el valor más bajo de BIC entre los 12 modelos ( $BIC = 237.66$ ,  $R^2 = 0.55$ ,  $gl = 20$ ,  $p < 0.001$ ). Las variables seleccionadas por estos algoritmos fueron el efecto de borde ( $p < 0.001$ ), la orientación ( $p < 0.001$ ), la altitud ( $p = 0.007$ ,  $0.59$ ) y el peligro volcánico ( $p = 0.02$ ). El polígono con el mayor efecto de borde es el polígono 9 (13.3) que es un cuerpo de agua con 99 especies, mientras que el menor efecto de borde pertenece al 6 (1.13) cubierto por bosque mesófilo con 117

especies. La orientación tiene efecto en las diferencias entre la riqueza del nevado y el volcán, 276 y 386 especies, respectivamente. Se observa en el patrón altitudinal, que muestra el pico de riqueza en altitudes medias, que es más claro en el noreste del CVC (polígonos 13, 25, 8, 3 y 31) (fig. 2). Con respecto al peligro volcánico, no hay un patrón claro en los picos de riqueza entre las zonas que podrían ser afectadas por la actividad volcánica, sin embargo, polígonos que pueden ser afectados por flujos piroclástico o flujos de bloques presentan riqueza baja, por ejemplo, el polígono 7 ocupado por bosque de pino tiene 37 especies (apéndices 1, 4).

## Discusión

Los resultados muestran que el ensamblaje de aves del CVC es modelado por varios procesos ecológicos, que han derivado en un alto endemismo, diversidad de afinidades

biogeográficas y un elevado recambio de especies entre áreas. Particularmente, la riqueza de especies está determinada por una serie de variables ambientales donde destaca la actividad volcánica, por su gama de disturbios volcánicos y los diferentes impactos sobre el ensamblaje, mismos que aún no han sido estudiados a profundidad.

*Contexto regional de la avifauna.* La avifauna del CVC representa aproximadamente 35% de la riqueza total de aves de México y 70% de la riqueza del estado de Jalisco, y es una de las provincias fisiográficas con mayor riqueza de aves en el occidente de México con al menos 397 especies (Navarro-Sigüenza et al., 2014; Santana et al., 2017). De acuerdo con Santana et al. (2017), la región fisiográfica en Jalisco con mayor riqueza específica es la Sierra Madre del Sur con 409 especies, por su parte, la FVT, la Planicie Costera del Pacífico (PCP) y la Sierra Madre Occidental (SMO) tienen 370, 322 y 320 especies, respectivamente. Es importante aclarar que Santana et al. (2017) no mencionan la autoría de las regiones que utilizan, por lo que las comparaciones con la provincia fisiográfica utilizada en nuestro estudio pueden ser confusas debido a diferencias en los límites, dimensiones y toponimia (Lugo-Hubp y Córdova, 1992).

La riqueza del CVC resulta ser superior a la reportada en la FVT en Jalisco, la cual, de acuerdo con diversas propuestas de regionalización incluye al área de la provincia Volcanes de Colima (Cervantes-Zamora et al., 1990; Cruz-Sáenz, et al., 2017; Lugo-Hubp y Córdova, 1992; Navarro-Sigüenza et al., 2007; Santana et al., 2017). Esta diferencia en el número de especies también puede ser consecuencia de la subestimación en los estudios previos del CVC y, por ende, del occidente de la FVT. Por ejemplo, Schaldach (1963) reportó 117 especies y en los datos técnicos del AICA se mencionan 217 especies (Comisión para la Cooperación Ambiental, 1999). De acuerdo con nuestros resultados, registramos entre 95 y 96% de las especies potenciales para el CVC, entre ellas, todas las familias, géneros y especies eventualmente presentes en todo México (Gómez-de Silva y Medellín, 2001). Estas 397 especies se distribuyen en el CVC siguiendo un patrón con el pico de riqueza en altitudes medias (fig. 2; McCain, 2004; McCain y Grytnes, 2010).

Esta gran riqueza de especies se ve influida de manera importante por los procesos de diversificación consecuentes del surgimiento de la FVT (Ferrari et al., 1999), la subducción de la placa de Farallón y la aparición de la SMO (Ferrari et al., 2002), o por la alternancia de los periodos glacial-interglacial (Castillo-Chora et al., 2021). Estos procesos propiciaron el alto nivel de endemismo en el occidente de México (Navarro-Sigüenza et al., 2014), mismo que se concentra en una franja conformada por la Depresión del Balsas (DB), la PCP, la SMO y la FVT *per se*

(Navarro-Sigüenza et al., 2014). En el CVC encontramos que en las tierras bajas las especies endémicas están asociadas con la selva baja caducifolia de la PCP y la DB (e.g., *Calocitta collei*, *Pheugopedius felix* y *Megascops seductus*). En elevaciones medias hay especies exclusivas de los bosques de pino-encino o del bosque mesófilo de montaña de la FVT, la SMO y la Sierra Madre del Sur (e.g., *Vireo brevipennis* y *Piranga erythrocephala*). Mientras que en las tierras altas hay especies características de los ecosistemas templados de las montañas mexicanas (e.g., *Dendrortyx macroura*, *Strix sartorii* y *Cardellina rubra*). La riqueza sobresaliente de endemismos en el CVC (48 especies) lo posiciona como uno de los sitios con más especies endémicas dentro de México y coincide con las estimaciones de Navarro-Sigüenza et al. (2014), donde a partir de la distribución potencial de las especies endémicas, registraron una concentración máxima de 47 especies por localidad. A pesar de ello, las especies endémicas solo representan 12% del total de especies del CVC, un valor bajo si se compara con 26% presentado en el Alto Balsas, región con el mayor porcentaje de especies endémicas con relación a su diversidad gamma (Navarro-Sigüenza et al., 2014; Vázquez-Reyes et al., 2018).

La migración de aves en el occidente de México es bastante peculiar, pues existen atributos asociados con el uso de hábitat (tipo de vegetación), distribución y comportamiento que son exclusivos de la región (Hutto, 2010). En México invernan 266 de las 332 especies migratorias neárticas (Rappole et al., 1983), de las cuales 149 pasan el invierno en el CVC o transitan por la región, es decir, 56% de las especies que llegan a México. Referente a las especies semiendémicas, en este trabajo reportamos 28 de las 85 especies que invernan exclusivamente en el país (González-García y Gómez-de Silva, 2002; Hutto, 2010; Rappole et al., 1983). El porcentaje de las especies migratorias suele ser elevado en la mayoría de los diferentes tipos de vegetación del occidente de México, ya que representan aproximadamente 45% de las especies (Hutto, 1980, 2010), el promedio en el CVC es de 37.5% del total de especies. Esto se explica por la continuidad entre sus hábitats de invierno y verano en el occidente de Norteamérica y por los recursos disponibles en los distintos tipos de vegetación, semejantes a los consumidos en su época reproductiva (Hutto, 2010; Maarse et al., 2012). Algunos ejemplos de interacciones entre especies residentes del CVC y aves migratorias son la polinización de *Salvia* spp. por colibríes migratorios (e.g., *Selasphorus rufus*) o, la depredación del escarabajo descortezador (*Dendroctonus adjunctus*) por golondrinas (*Tachycineta thalassina*) durante la fase de dispersión del escarabajo. También en invierno, muchas especies utilizan más tipos de hábitat que en verano, de modo que aumenta

el solapamiento geográfico y las interacciones entre las especies, por lo cual forrajean juntas en parvadas mixtas (Hutto, 2010). En nuestros monitoreos hemos registrado parvadas mixtas de hasta 22 especies en los bosques de pino-encino, considerados como uno de los tipos de vegetación con parvadas mixtas más ricas en especies a nivel mundial, con un promedio de 20 y un máximo de 32 (Hutto, 1987).

*Diversidad beta.* A escala nacional, las aves en las cadenas montañosas muestran un bajo recambio de especies ( $\beta_{SIM}$ ) debido a la amplitud de su rango de distribución (Rodríguez et al., 2019, ver corotipos). En contraste, en una escala local hay alta disimilitud entre los polígonos del USV debido a un alto recambio de especies. Existen varias propuestas sobre las variables que a través de un gradiente ambiental determinan el reemplazo de especies entre unidades geográficas, entre ellas destacan la precipitación (Rodríguez et al., 2019), la interacción temperatura-uso de suelo (Ferger et al., 2017), la afinidad de hábitat y afinidad biogeográfica (Flesch, 2018), la disponibilidad de recursos (Hanz et al., 2019), o la altitud (Montaño-Centellas et al., 2019). En el CVC las variables que explican la riqueza también podrían explicar el recambio, al menos en el patrón general del dendrograma. La influencia de la altitud en la diversidad beta del CVC marca el patrón del dendrograma (fig. 3) permitiendo que los polígonos se relacionen entre sí siguiendo el patrón altitudinal de las montañas tropicales propuesto por Montaño-Centellas et al. (2019), determinado por los endemismos de elevaciones bajas, medias y altas. A su vez, dentro de cada grupo del dendrograma, observamos que las variables no significativas para la riqueza son coincidentes entre los polígonos, como el tipo de vegetación, el uso de suelo y la perturbación. La disposición de los grupos dentro del dendrograma en un esquema de recambio escalonado indica que las metacomunidades tienen una estructura Gleasoniana, caracterizada por un recambio de especies entre localidades y un agrupamiento no significativo. En esta estructura son claves las especies con nichos más pequeños con relación al gradiente, es decir, las endémicas de cada piso altitudinal (Presley et al., 2010).

*Afinidad biogeográfica.* El área de estudio, al formar parte de la Zona de Transición Mexicana (Halfiter, 1962) y del dominio Mesoamericano, tiene una diversidad avifaunística con una amplia gama de corotipos y eventos de especiación (fig. 4; Ríos-Muñoz, 2012; Sánchez-González et al., 2013). Las explicaciones biogeográficas para el origen de la biota nativa mesoamericana están basadas tanto en procesos de dispersión como de diversificación, que fueron sintetizados por Savage (1966, 1982) en 4 patrones. Los patrones de Savage se pueden asociar con las afinidades biogeográficas de las aves.

El primer elemento propuesto por Savage es el mesoamericano (afinidad MA, fig. 4), comprendido por géneros endémicos de México y Centroamérica que tienen origen principalmente en procesos de especiación vicariante por el surgimiento de la FVT (Ferrari et al., 1999) o de la SMO (Ferrari et al., 2002), así como de los refugios del Pleistoceno (Castillo-Chora et al., 2021). El segundo es el elemento septentrional antiguo (afinidades NA, NA-MA y NA-MA-NT) que contiene géneros extratropicales con distribución en Eurasia y Norteamérica. El tercero es el elemento sudamericano (afinidad MA-NT) integrado por géneros con distribución principalmente en Sudamérica y que ingresaron a la región a partir del gran intercambio biótico americano (Weir et al., 2009). El cuarto, el elemento septentrional reciente (afinidades NA y NA-MA), está representado por algunos géneros extratropicales asociados con las regiones áridas y semiáridas del suroeste de EUA y norte de México (Savage, 1982). Estos últimos 3 elementos son resultado de procesos de dispersión y conjuntan tanto especies residentes como migratorias. El elemento sudamericano es el más representativo del dominio Mesoamericano (Savage, 1982), sin embargo, esto no sucede en el CVC, que geológicamente forma parte del continente Norteamericano y la influencia de las especies septentrionales o neárticas es mayor (afinidades NA, NA-MA y NA-MA-NT).

Los resultados de los modelos compuestos indican que la altitud, el efecto de borde, la orientación y el peligro volcánico son las variables ambientales que determinan la riqueza específica en los polígonos. Existen varios fenómenos intrínsecos en estas variables y son éstos los que explican los patrones encontrados. El patrón por pisos altitudinales tiene relación con la altitud como un componente físico que en un gradiente ambiental conlleva diversas variables correlacionadas como temperatura, precipitación, tipo de vegetación, presión atmosférica y la disponibilidad de oxígeno (Körner, 2012). Las diferencias en estas variables originan fenómenos como el efecto Mid-Domain (McCain, 2004; McCain y Grytnes, 2010), que hace referencia a la mayor concentración de riqueza específica en altitudes medias, como en el CVC (fig. 2); también el efecto Massenerhebung (Bruijnzeel et al., 1993), relacionado con la humedad capturada por la montaña y configuración de los tipos de vegetación en el gradiente altitudinal y orientación cardinal. En el CVC, el volcán retiene mayor humedad debido a su posición orientada al océano Pacífico, favoreciendo tipos de vegetación tropicales y una riqueza de especies de aves superior a la encontrada en el nevado (figs. 1, 2) (Maarse et al., 2012). Además, el efecto “treeline” (Körner, 2012), que es la altitud donde las condiciones ambientales ya no permiten el establecimiento de bosques. Con respecto a este último

punto, una estructura más simple en la vegetación ofrece menos recursos alimenticios y de refugio para las aves (Terborgh, 1977). En la figura 1 observamos que el polígono 31 tiene menor riqueza que los polígonos a su alrededor, en el espacio vacío que queda dentro del polígono se encuentra el punto más alto del Nevado y corresponde a un polígono sin vegetación aparente (INEGI, 2016).

La relevancia del endemismo y la migración de la avifauna, entre otros atributos de la diversidad biológica de la región, ha llevado a que el nevado y el volcán de Colima se consideren como sitios prioritarios para la conservación (AICA y EBA). Aunado con lo anterior, la presencia de especies protegidas por autoridades mexicanas e internacionales lo convierte en un sitio clave para la conservación. De acuerdo con UICN (2020), 3% de las especies están en alguna categoría de peligro y 13% para el caso de la NOM-059-SEMARNAT-2010.

No existe información acerca de la situación de estas especies protegidas dentro del CVC, salvo el antecedente de la cotorra serrana (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*). Schnell et al. (1974) mencionan la pérdida de su hábitat debido a la extracción de madera para la producción de papel y el último avistamiento data de 2008 (Navarro-Pérez, obs. per.). La reducción de las poblaciones de la cotorra serrana está ligada con la pérdida de cavidades para anidar debido a la extracción de los pinos muertos en pie en la Sierra Madre Occidental y con la tala de los pinos jóvenes de donde obtiene su alimento (Lammertink et al., 1996; Schnell et al., 1974; Snyder et al., 2020). La extracción de los árboles muertos en pie es una práctica vigente y durante los 15 años de monitoreo se han registrado especies que reducen sus poblaciones o se desplazan a otros sitios, en algunas ocasiones pasan décadas sin ser observadas. Por ejemplo, *Strix sartorii*, tiene registros de 1889 y se volvió a observar hasta el 2012.

El disturbio detiene los procesos de sucesión ecológica, sin importar que tengan origen antropogénico o natural como la actividad volcánica y las nevadas, que son eventos estocásticos (Mittelbach y McGill, 2019). Las nevadas no se contemplaron en el estudio porque no contamos con datos que coincidan espacial y temporalmente con las esporádicas nevadas, sin embargo, es una variable que puede ser relevante en las partes más altas de ambas montañas durante el invierno. El disturbio en combinación con los tipos de vegetación, el efecto de borde y las variables correlacionadas de la altitud forman un mosaico de parches con diferentes tipos de hábitat (polígonos). En este mosaico encontramos vegetación conservada y secundaria, suelos desnudos y perturbación por disturbio volcánico, es decir, encontramos un mosaico con diferentes fases de sucesión ecológica (Chesson y Huntly, 1997). La interacción de los parches en un mosaico sucesional en conjunto con los

campos agrícolas y establecimientos humanos conlleva a la coexistencia de especies con preferencia a diferentes tipos de hábitat (Connell, 1978).

La actividad del volcán de Colima influye de manera importante en el mosaico sucesional, llevando a los ensamblajes de aves a estados alternativos estables, es decir, que la reestructuración del ensamblaje puede suceder con especies diferentes a las que habitaban antes del disturbio (Fukami, 2015; May, 1977). Los diferentes tipos de disturbio volcánico producen diversos daños que varían en intensidad y extensión. En las inmediaciones del cráter, así como al sur y sureste del volcán, la lava y el flujo piroclástico incineran a la biota (Payne y Egan, 2019; Reyes-Dávila, 2016). En los polígonos afectados por estos disturbios la baja riqueza de especies puede durar décadas, como podría ser el caso del polígono 7. En el monte Santa Helena se observó que en los sitios con mayor daño había ~ 5 especies de aves durante los primeros 5 años después de la erupción. Durante la primera década no se sobrepasan las 10 especies. El incremento pronunciado de especies se refleja entre los 15 y 25 años después de la erupción (Crisafulli et al., 2015). Al menos entre 2005 y 2015, la actividad del volcán de Colima fue bastante intensa, sin menospreciar su actividad antes y después de este periodo (Reyes-Dávila, 2016; <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=341040&vtab=Bulletin>). Debido al alto peligro que implica acercarse al cráter carecemos de suficientes registros y muestreos en sus inmediaciones, lo que se refleja como un vacío de información (fig. 1). Por su parte, la ceniza volcánica cubre grandes extensiones, principalmente en los polígonos que se ubican en el volcán. Dado que usamos datos históricos, los efectos de la ceniza no son perceptibles en la riqueza de especies porque la ceniza es volátil y con las precipitaciones se remueve. Sin embargo, hay efectos fisiológicos sobre las aves y diferentes respuestas de las especies ante el disturbio determinadas por sus atributos funcionales, pero solo son perceptibles en lapsos cortos de algunos meses (Sánchez-Ramos, obs. per.).

Los efectos de la actividad volcánica en el ensamblaje de aves han sido poco estudiados (Dalsgaard et al., 2007) y este trabajo da entrada a estudios posteriores donde se explore la importancia regional de estos eventos. El CVC es un laboratorio natural donde han interactuado diversos procesos ecológicos al grado de estructurar el ensamblaje actual de aves. Es un sitio dinámico y activo donde es factible analizar una serie de fenómenos y procesos que mejorarán nuestra comprensión de la avifauna del occidente de México, como su migración, desplazamientos locales, efecto de las nevadas, cambio de USV, dinámicas poblacionales, sitios de anidamiento y el más particular, la ecología en torno al volcán.

## Agradecimientos

Este artículo forma parte de los requisitos necesarios para la obtención de grado de Doctor en Ciencias de LES-R en el Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM, quien además contó con una beca otorgada por Conacyt (Núm. 691886) durante sus estudios. Agradecemos especialmente a José Villa Castillo, director del Parque Nacional Volcán Nevado de Colima y al Patronato del Nevado de Colima y Cuencas Adyacentes A.C., por el apoyo económico y logístico para el trabajo de campo. Al ejido de San José del Carmen y a Sergio Schulte por permitirnos muestrear en sus predios. A los integrantes del Laboratorio de

Ecosistemática de la Universidad de Guadalajara, que a través de generaciones han recabado información sobre las aves del CVC y que sin ellos no hubiera sido posible este trabajo. A los miembros del Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera”, por su aporte en campo, recomendación de literatura y discusión de temas. A Alejandro Gordillo Martínez, Lucía Capra, Lorenzo Vázquez-Selem, Horacio Paz, Ian MacGregor-Fors, Jaime Zúñiga-Vega, Mariana Álvarez-Añorve, Luis Daniel Ávila-Cabadilla, Carlos Lara, y tres revisores anónimos, por su apoyo y valiosos comentarios para mejorar los análisis y el manuscrito. A Rodolfo Flores por su apoyo en las últimas revisiones del manuscrito.

## Apéndice 1. Lista de polígonos y variables ambientales.

Polígono	USV	Perturbación	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Efecto de borde	Temperatura mínima (°C)	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)	Precipitación media (mm)	Altitud (msnm)	Orientación	Peligro volcánico
1	Urbano construido	Alta	0.8466	3.6157	4.2711	14.8	22.7	28.8	1,013	1,030	Sur	Pluma de ceniza
2	Urbano construido	Alta	0.3089	2.8375	9.1852	12.1	21.2	30.3	914	1,302	Sur	Pluma de ceniza
3	Bosque de oyamel	Baja	18.1021	25.2685	1.3959	3.7	10.1	16.8	1,236	3,345	Norte	Sin impacto directo
4	Bosque de oyamel	Baja	20.8128	34.8006	1.6721	7.3	11.2	21.6	1,169	2,916	Norte	Sin impacto directo
5	Bosque mesófilo de montaña	Baja	14.2207	24.1747	1.7000	10.8	20.0	26.1	621	1,537	Oeste	Flujo piroclástico-Pliniano
6	Bosque mesófilo de montaña	Baja	21.4756	24.3106	1.1320	6.8	14.8	21.1	1,040	2,240	Este	Flujo piroclástico-Pliniano
7	Bosque de pino	Baja	3.6206	8.8492	2.4441	5.1	17.8	23.2	806	1,958	Sur	Colapso de domo - Flujo de bloques y ceniza
8	Bosque de pino-encino	Baja	133.5357	166.8837	1.2497	8.3	13.4	23.1	1,070	2,385	Norte	Sin impacto directo
9	Agua	Baja	0.1055	1.4032	13.3030	12.8	19.7	28.1	657	1,382	Sur	Flujo piroclástico-Pliniano
10	Pastizal	Alta	39.0064	76.0392	1.9494	13.4	22.3	28.4	995	1,090	Sur	Pluma de ceniza

**Apéndice 1. Continúa**

Polígono	USV	Perturbación	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Efecto de borde	Temperatura mínima (°C)	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)	Precipitación media (mm)	Altitud (msnm)	Orientación	Peligro volcánico
11	Pastizal	Alta	3.6126	12.9946	3.5970	10.1	21.4	29.0	902	1,231	Sur	Pluma de ceniza
12	Pastizal	Alta	15.8410	31.6925	2.0007	12.2	20.9	27.5	809	1,352	Sur	Flujo piroclástico - piedra pómez
13	Agricultura	Alta	139.2963	165.6856	1.1894	11.1	18.1	27.0	735	1,660	Norte	Sin impacto directo
14	Agricultura	Alta	0.9078	5.3112	5.8507	11.6	19.0	27.0	649	1,641	Sur	Flujo piroclástico - piedra pómez
15	Agricultura	Alta	1.3457	6.3165	4.6938	14.3	19.7	27.0	704	1,498	Este	Sin impacto directo
16	Agricultura	Alta	16.3559	39.1522	2.3938	13.8	21.3	30.2	978	1,209	Este	Sin impacto directo
17	Agricultura	Alta	16.0079	34.1296	2.1321	12.7	20.6	29.0	808	1,349	Este	Sin impacto directo
18	Agricultura	Alta	69.4960	101.8711	1.4659	15.0	22.9	30.9	811	1,014	Oeste	Sin impacto directo
19	Agricultura	Alta	20.7607	33.1988	1.5991	11.8	21.5	27.7	920	1,219	Sur	Pluma de ceniza
20	Agricultura	Alta	18.3092	45.6001	2.4906	13.5	21.6	29.0	853	1,217	Oeste	Pluma de ceniza
21	Agricultura	Alta	19.7068	47.2355	2.3969	15.4	22.3	30.3	1,000	1,190	Sur	Pluma de ceniza
22	Bosque mesófilo de montaña	Media	11.0379	23.5683	2.1352	13.0	22.1	28.4	903	1,104	Sur	Flujo piroclástico - piedra pómez
23	Bosque mesófilo de montaña	Media	7.6009	19.8073	2.6059	12.4	21.2	27.7	867	1,249	Sur	Flujo piroclástico - piedra pómez
24	Bosque de pino	Media	14.4871	34.7009	2.3953	11.1	16.5	27.1	929	1,627	Este	Flujo piroclástico -Pliniano
25	Bosque de pino-encino	Media	24.1364	44.5223	1.8446	8.8	15.9	24.2	945	2,005	Norte	Sin impacto directo

**Apéndice 1. Continúa**

Polígono	USV	Perturbación	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Efecto de borde	Temperatura mínima (°C)	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)	Precipitación media (mm)	Altitud (msnm)	Orientación	Peligro volcánico
26	Bosque de pino-encino	Media	27.3716	37.0420	1.3533	8.1	15.9	23.1	927	2,026	Norte	Sin impacto directo
27	Bosque de encino	Media	10.8067	41.6767	3.8566	14.2	22.1	29.6	903	1,130	Sur	Flujo piroclástico - piedra pómez
28	Bosque de encino	Media	5.2630	16.1081	3.0606	13.1	21.7	28.3	900	1,200	Sur	Flujo piroclástico -Pliniano
29	Bosque de encino-pino	Media	11.3078	21.1522	1.8706	12.8	19.8	28.2	615	1,409	Oeste	Flujo piroclástico -Pliniano
30	Selva baja caducifolia	Media	1.4324	10.6504	7.4354	15.0	22.7	29.3	1,013	1,041	Sur	Pluma de ceniza
31	Pradera de alta montaña	Baja	18.1836	24.8434	1.3663	1.8	9.3	14.2	1,284	3,536	Norte	Sin impacto directo
32	Urbano construido	Alta	1.1657	6.2728	5.3814	17.9	22.3	31.3	934	1,020	Este	Pluma de ceniza

**Apéndice 2. Lista de especies de aves del complejo volcánico de Colima.**

Taxones	NOM-059	IUCN	Endemismo	Estacionalidad	A. biogeográfica
Tinamiformes					
Tinamidae					
<i>Crypturellus cinnamomeus</i>	PR	LC	-	R	MA
Anseriformes					
Anatidae					
<i>Dendrocygna autumnalis</i>	-	LC	-	R	NA-MA-NT
<i>Dendrocygna bicolor</i>	-	LC	-	R	NA-MA-NT
<i>Aix sponsa</i>	-	LC	-	MI	NA
<i>Spatula cyanoptera</i>	-	LC	-	MI, R	NA-MA-NT
<i>Spatula discors</i>	-	LC	-	MI	NA-MA-NT
<i>Spatula clypeata</i>	-	LC	-	MI	NA-MA
<i>Mareca strepera</i>	-	LC	-	MI	NA-MA
<i>Anas platyrhynchos</i>	-	LC	-	MI, R	NA
<i>Anas acuta</i>	-	LC	-	MI	NA-MA
<i>Anas crecca</i>	-	LC	-	MI	NA-MA
<i>Aythya valisineria</i>	-	LC	-	MI	NA-MA



**Apéndice 2. Lista de especies de aves del complejo volcánico de Colima.**

Taxones	NOM-059	IUCN	Endemismo	Estacionalidad	A. biogeográfica
<i>Aythya americana</i>	-	LC	-	MI, R	NA-MA
<i>Aythya collaris</i>	-	LC	-	MI	NA-MA
<i>Aythya affinis</i>	-	LC	-	MI	NA-MA
<i>Oxyura jamaicensis</i>	-	LC	-	MI, R	NA-MA
Galliformes					
Cracidae					
<i>Ortalis poliocephala</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Penelope purpurascens</i>	A	LC	-	R	MA-NT
Odontophoridae					
<i>Dendrortyx macroura</i>	A	LC	EN	R	MA
<i>Philortyx fasciatus</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Colinus virginianus</i>	-	NT	-	R	NA-MA
<i>Dactylortyx thoracicus</i>	PR	LC	-	R	MA
Podicipediformes					
Podicipedidae					
<i>Tachybaptus dominicus</i>	PR	LC	-	R	NA-MA-NT
<i>Podilymbus podiceps</i>	-	LC	-	R, MI	NA-MA-NT
Ciconiiformes					
Ciconiidae					
<i>Mycteria americana</i>	PR	LC	-	MI, R	NA-MA-NT
Pelecaniformes					
Threskiornithidae					
<i>Eudocimus albus</i>	-	LC	-	R, MI	NA-MA-NT
<i>Plegadis chihi</i>	-	LC	-	MI, R	NA-MA-NT
<i>Platalea ajaja</i>	-	LC	-	MI, R	NA-MA-NT
Ardeidae					
<i>Ixobrychus exilis</i>	PR	LC	-	MI, R	NA-MA-NT
<i>Nycticorax nycticorax</i>	-	LC	-	R, MI	NA-MA-NT
<i>Nyctanassa violacea</i>	-	LC	-	R, MI	NA-MA-NT
<i>Butorides virescens</i>	-	LC	-	R, MI	NA-MA
<i>Bubulcus ibis</i>	-	LC	-	R, MI	NA-MA-NT
<i>Ardea herodias</i>	-	LC	-	MI, R	NA-MA
<i>Ardea alba</i>	-	LC	-	MI, R	NA-MA-NT
<i>Egretta tricolor</i>	-	LC	-	MI, R	NA-MA-NT
<i>Egretta caerulea</i>	-	LC	-	MI, R	NA-MA-NT
<i>Egretta thula</i>	-	LC	-	MI, R	NA-MA-NT
Pelecanidae					
<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	-	LC	-	MI	NA-MA
<i>Pelecanus occidentalis</i>	-	LC	-	R, MI	NA-MA-NT

**Apéndice 2. Lista de especies de aves del complejo volcánico de Colima.**

Taxones	NOM-059	IUCN	Endemismo	Estacionalidad	A. biogeográfica
Suliformes					
Phalacrocoracidae					
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	-	LC	-	R	MA-NT
Accipitriformes					
Cathartidae					
<i>Cathartes aura</i>	-	LC	-	R	NA-MA-NT
<i>Coragyps atratus</i>	-	LC	-	R	NA-MA-NT
Pandionidae					
<i>Pandion haliaetus</i>	-	LC	-	MI, R	NA-MA-NT
Accipitridae					
<i>Elanus leucurus</i>	-	LC	-	R	NA-MA-NT
<i>Chondrohierax uncinatus</i>	PR	LC	-	MI, R	NA-MA-NT
<i>Aquila chrysaetos</i>	A	LC	-	MI, R	NA-MA
<i>Harpagus bidentatus</i>	PR	LC	-	R	MA-NT
<i>Accipiter striatus</i>	PR	LC	-	MI, R	NA-MA
<i>Accipiter cooperii</i>	PR	LC	-	MI, R	NA-MA
<i>Accipiter gentilis</i>	A	LC	-	R	NA-MA
<i>Circus hudsonius</i>	-	LC	-	MI, R	NA-MA-NT
<i>Geranospiza caerulescens</i>	A	LC	-	R	MA-NT
<i>Buteogallus anthracinus</i>	PR	LC	-	R, MV	NA-MA-NT
<i>Buteogallus urubitinga</i>	PR	LC	-	R	MA-NT
<i>Rupornis magnirostris</i>	-	LC	-	R	MA-NT
<i>Parabuteo unicinctus</i>	PR	LC	-	R	NA-MA-NT
<i>Geranoaetus albicaudatus</i>	PR	LC	-	R	NA-MA-NT
<i>Buteo plagiatus</i>	-	LC	-	R	NA-MA
<i>Buteo lineatus</i>	PR	LC	-	MI, R	NA
<i>Buteo platypterus</i>	PR	LC	-	T, MI	NA-MA-NT
<i>Buteo brachyurus</i>	-	LC	-	R	MA-NT
<i>Buteo swainsoni</i>	PR	LC	-	T, MV	NA-MA-NT
<i>Buteo albonotatus</i>	PR	LC	-	MI, MV, R	NA-MA-NT
<i>Buteo jamaicensis</i>	-	LC	-	R, MI	NA-MA
Gruiformes					
Rallidae					
<i>Rallus tenuirostris</i>	P	NT	EN	R	MA
<i>Rallus limicola</i>	A	LC	-	MI, R	NA
<i>Porzana carolina</i>	-	LC	-	MI, R	NA-MA-NT
<i>Gallinula chloropus</i>	-	LC	-	R, MI	NA-MA-NT
<i>Fulica americana</i>	-	LC	-	R, MI	NA-MA

**Apéndice 2. Lista de especies de aves del complejo volcánico de Colima.**

Taxones	NOM-059	IUCN	Endemismo	Estacionalidad	A. biogeográfica
Charadriiformes					
Recurvirostridae					
<i>Himantopus mexicanus</i>	-		-	R, MI	NA-MA-NT
<i>Recurvirostra americana</i>	-	LC	-	MI, R	NA-MA
Charadriidae					
<i>Charadrius vociferus</i>	-	LC	-	R, MI	NA-MA-NT
Jacanidae					
<i>Jacana spinosa</i>	-	LC	-	R	MA
Scolopacidae					
<i>Calidris minutilla</i>	-	LC	-	MI	NA-MA-NT
<i>Limnodromus scolopaceus</i>	-	LC	-	MI	NA-MA
<i>Gallinago delicata</i>	-	LC	-	MI	NA-MA-NT
<i>Actitis macularius</i>	-	LC	-	MI	NA-MA-NT
<i>Tringa flavipes</i>	-	LC	-	MI	NA-MA-NT
<i>Tringa melanoleuca</i>	-	LC	-	MI	NA-MA-NT
<i>Leucophaeus atricilla</i>	-	LC	-	MI, R	NA-MA-NT
<i>Larus delawarensis</i>	-	LC	-	MI	NA-MA
<i>Hydroprogne caspia</i>	-	LC	-	MI, R	NA-MA-NT
Columbiformes					
Columbidae					
<i>Columba livia</i>	-	LC	Exo	R	NA-MA-NT
<i>Patagioenas fasciata</i>	-	LC	-	R, MI	NA-MA-NT
<i>Patagioenas flavirostris</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Streptopelia decaocto</i>	-	LC	Exo	R	EXO
<i>Columbina inca</i>	-	LC	-	R	NA-MA
<i>Columbina passerina</i>	-	LC	-	R	NA-MA-NT
<i>Columbina talpacoti</i>	-	LC	-	R	MA-NT
<i>Geotrygon montana</i>	-	LC	-	R	MA-NT
<i>Leptotila verreauxi</i>	-	LC	-	R	MA-NT
<i>Zenaida macroura</i>	-	LC	-	R, MI	NA-MA
<i>Zenaida asiatica</i>	-	LC	-	R, MI	NA-MA
Cuculiformes					
Cuculidae					
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	-	LC	-	R	MA-NT
<i>Morococcyx erythropygus</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Geococcyx californianus</i>	-	LC	-	R	NA-MA
<i>Geococcyx velox</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Piaya cayana</i>	-	LC	-	R	MA-NT

**Apéndice 2. Lista de especies de aves del complejo volcánico de Colima.**

Taxones	NOM-059	IUCN	Endemismo	Estacionalidad	A. biogeográfica
Strigiformes					
Tytonidae					
<i>Tyto furcata</i>	-	LC	-	R	NA-MA-NT
Strigidae					
<i>Psiloscoops flammeolus</i>	-	LC	SE	R, MV, MI	NA, MA
<i>Megascops kennicottii</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Megascops seductus</i>	A	LC	EN	R	MA
<i>Megascops trichopsis</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Megascops guatemalae</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Bubo virginianus</i>	-	LC	-	R	NA, MA, NT
<i>Strix occidentalis</i>	A	NT	-	R	NA, MA
<i>Strix sartorii</i>	PR		EN	R	MA
<i>Strix virgata</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Glaucidium gnoma</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Glaucidium palmarum</i>	A	LC	EN	R	MA
<i>Glaucidium brasilianum</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Athene cunicularia</i>	-	LC	-	R, MI	NA, MA, NT
<i>Aegolius acadicus</i>	-	LC	-	R	NA
<i>Asio stygius</i>	A	LC	-	R	MA, NT
Caprimulgiformes					
Caprimulgidae					
<i>Chordeiles acutipennis</i>	-	LC	-	MV, MI, R	NA, MA, NT
<i>Chordeiles minor</i>	-	LC	-	MV, T	NA, MA, NT
<i>Nyctidromus albicollis</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Nyctiphrynus mcleodii</i>	PR	LC	EN	R	MA
<i>Antrostomus ridgwayi</i>	-	LC	-	R, MV	MA
<i>Antrostomus arizonae</i>	-	LC	-	R, MV	NA, MA
Apodiformes					
Apodidae					
<i>Streptoprocne zonaris</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Streptoprocne semicollaris</i>	PR	LC	EN	R	MA
<i>Chaetura vauxi</i>	-	LC	-	R, T	NA, MA, NT
<i>Aeronautes saxatalis</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Panyptila sanctihieronymi</i>	PR	LC	-	R	MA
Trochilidae					
<i>Phaethornis mexicanus</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Colibri thalassinus</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Chlorostilbon auriceps</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Cyananthus latirostris</i>	-	LC	SE	R	NA, MA

**Apéndice 2. Lista de especies de aves del complejo volcánico de Colima.**

Taxones	NOM-059	IUCN	Endemismo	Estacionalidad	A. biogeográfica
<i>Amazilia rutila</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Amazilia violiceps</i>	-	LC	SE	R	NA, MA
<i>Amazilia beryllina</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Lampornis clemenciae</i>	-	LC	SE	R	NA, MA
<i>Lampornis amethystinus</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Basilinna leucotis</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Eugenes fulgens</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Helimaster constantii</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Tilmatura dupontii</i>	A	LC	-	R	MA
<i>Calothorax lucifer</i>	-	LC	SE	MV, MI, R	NA
<i>Archilochus colubris</i>	-	LC	-	MI, T	NA, MA
<i>Archilochus alexandri</i>	-	LC	SE	MV, MI	NA, MA
<i>Atthis heloisa</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Selasphorus platycercus</i>	-	LC	SE	R, MI, MV	NA, MA
<i>Selasphorus rufus</i>	-	LC	-	MI	NA, MA
<i>Selasphorus sasin</i>	-	LC	SE	MI, MV	NA
<i>Selasphorus calliope</i>	-	LC	SE	MI, MV	NA
Trogoniformes					
Trogonidae					
<i>Euptilotis neoxenus</i>	A	LC	EN	R	MA
<i>Trogon citreolus</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Trogon elegans</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Trogon mexicanus</i>	-	LC	-	R	MA
Coraciiformes					
Alcedinidae					
<i>Chloroceryle americana</i>	-	LC	-	R	NA, MA, NT
<i>Megaceryle torquata</i>	-	LC	-	R	NA, MA, NT
<i>Megaceryle alcyon</i>	-	LC	-	MI	NA, MA, NT
Momotidae					
<i>Momotus mexicanus</i>	-	LC	CE	R	MA
Piciformes					
Picidae					
<i>Melanerpes formicivorus</i>	-	LC	-	R	NA, MA, NT
<i>Melanerpes chrysogenys</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Melanerpes aurifrons</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Sphyrapicus varius</i>	-	LC	-	MI	NA, MA
<i>Dryobates scalaris</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Leuconotopicus fumigatus</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Leuconotopicus arizonae</i>	-	LC	CE	R	NA, MA
<i>Leuconotopicus villosus</i>	-	LC	-	R	NA, MA

**Apéndice 2. Lista de especies de aves del complejo volcánico de Colima.**

Taxones	NOM-059	IUCN	Endemismo	Estacionalidad	A. biogeográfica
<i>Colaptes auricularis</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Colaptes auratus</i>	-	LC	-	R, MI	NA, MA
<i>Dryocopus lineatus</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Campephilus guatemalensis</i>	PR	LC	-	R	MA
Falconiformes					
Falconidae					
<i>Caracara cheriway</i>	-	LC	-	R	NA, MA, NT
<i>Herpetotheres cachinnans</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Micrastur semitorquatus</i>	PR	LC	-	R	MA, NT
<i>Falco sparverius</i>	-	LC	-	R, MI	NA, MA, NT
<i>Falco columbarius</i>	-	LC	-	MI	NA, MA, NT
<i>Falco rufigularis</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Falco peregrinus</i>	PR	LC	-	R, MI	NA, MA, NT
Psittaciformes					
Psittacidae					
<i>Amazona albifrons</i>	PR	LC	-	R	MA
<i>Amazona finschi</i>	P	EN	EN	R	MA
<i>Forpus cyanopygius</i>	PR	NT	EN	R	MA
<i>Rhynchopsitta pachyrhyncha</i>	P	EN	EN	MV, MI	MA
<i>Eupsittula canicularis</i>	PR	LC	-	R	MA
<i>Ara militaris</i>	P	VU	-	R	MA, NT
Passeriformes					
Furnariidae					
<i>Sittasomus griseicapillus</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Xiphorhynchus flavigaster</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Lepidocolaptes leucogaster</i>	-	LC	EN	R	MA
Grallariidae					
<i>Grallaria guatimalensis</i>	A	LC	-	R	MA-NT
Tyrannidae					
<i>Myiopagis viridicata</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Camptostoma imberbe</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Sayornis nigricans</i>	-	LC	-	R, MI	NA, MA, NT
<i>Sayornis saya</i>	-	LC	-	R, MI	NA, MA
<i>Mitrephanes phaeocercus</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Contopus cooperi</i>	-	NT	-	T, MI, MV	NA, MA, NT
<i>Contopus pertinax</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Contopus sordidulus</i>	-	LC	-	MV, T	NA, MA, NT
<i>Empidonax traillii</i>	-	LC	-	MI	NA, MA, NT
<i>Empidonax albigularis</i>	-	LC	-	MI, MV, R	MA
<i>Empidonax minimus</i>	-	LC	-	MI	NA, MA

**Apéndice 2. Lista de especies de aves del complejo volcánico de Colima.**

Taxones	NOM-059	IUCN	Endemismo	Estacionalidad	A. biogeográfica
<i>Empidonax hammondii</i>	-	LC	-	MI	NA, MA
<i>Empidonax oberholseri</i>	-	LC	SE	MI	NA, MA
<i>Empidonax wrightii</i>	-	LC	SE	MI	NA
<i>Empidonax affinis</i>	-	LC	CE	R	MA
<i>Empidonax difficilis</i>	-	LC	SE	MI, R	NA
<i>Empidonax occidentalis</i>	-	LC	SE	R, MI, MV	NA
<i>Empidonax fulvifrons</i>	-	LC	-	R, MI, MV	NA, MA
<i>Pyrocephalus obscurus</i>	-	LC	-	R, MI	NA, MA, NT
<i>Myiozetetes similis</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Pitangus sulphuratus</i>	-	LC	-	R	NA, MA, NT
<i>Myiodynastes luteiventris</i>	-	LC	-	MV	NA, MA, NT
<i>Megarynchus pitangua</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Tyrannus melancholicus</i>	-	LC	-	R	NA, MA, NT
<i>Tyrannus vociferans</i>	-	LC	SE	R, MI	NA, MA
<i>Tyrannus crassirostris</i>	-	LC	SE	R, MV, MI	NA, MA
<i>Tyrannus verticalis</i>	-	LC	-	MI, T, MV	NA, MA
<i>Myiarchus tuberculifer</i>	-	LC	-	R	NA, MA, NT
<i>Myiarchus cinerascens</i>	-	LC	-	MI, MV, R	NA, MA
<i>Myiarchus nuttingi</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Myiarchus tyrannulus</i>	-	LC	-	R, MV	NA, MA, NT
<i>Deltarhynchus flammulatus</i>	PR	LC	EN	R	MA
<i>Attila spadiceus</i>	-	LC	-	R	MA, NT
Tityridae					
<i>Tityra semifasciata</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Pachyramphus major</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Pachyramphus aglaiae</i>	-	LC	-	R	MA
Laniidae					
<i>Lanius ludovicianus</i>	-	NT	-	R, MI	NA-MA
Vireonidae					
<i>Vireolanius melitophrys</i>	-	LC	CE	R	MA
<i>Vireo brevipennis</i>	A	LC	EN	R	MA
<i>Vireo bellii</i>	-	NT	-	MI, MV	NA, MA
<i>Vireo atricapilla</i>	P	VU	SE	MI, MV	NA, MA
<i>Vireo nelsoni</i>	PR	LC	EN	R	MA
<i>Vireo plumbeus</i>	-	LC	-	MI, R, MV	NA, MA
<i>Vireo cassinii</i>	-	LC	SE	MI, MV, R	NA, MA
<i>Vireo huttoni</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Vireo hypochryseus</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Vireo gilvus</i>	-	LC	-	MI, R	NA, MA
<i>Vireo flavoviridis</i>	-	LC	-	MV	MA, NT

**Apéndice 2. Lista de especies de aves del complejo volcánico de Colima.**

Taxones	NOM-059	IUCN	Endemismo	Estacionalidad	A. biogeográfica
<b>Corvidae</b>					
<i>Cyanocorax sanblasianus</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Cyanocorax luxuosus</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Calocitta colliei</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Calocitta formosa</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Cyanocitta stelleri</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Aphelocoma ultramarina</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Corvus corax</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<b>Bombycillidae</b>					
<i>Bombycilla cedrorum</i>	-	LC	-	MI	NA-MA-NT
<b>Ptiliognatidae</b>					
<i>Ptiliognys cinereus</i>	-	LC	CE	R	MA
<b>Paridae</b>					
<i>Baeolophus wollweberi</i>	-	LC	-	R	NA-MA
<i>Poecile sclateri</i>	-	LC	CE	R	NA-MA
<b>Hirundinidae</b>					
<i>Riparia riparia</i>	-	LC	-	T, MI, MV	NA, MA, NT
<i>Tachycineta bicolor</i>	-	LC	-	MI	NA, MA, NT
<i>Tachycineta thalassina</i>	-	LC	-	R, MI	NA, MA
<i>Progne chalybea</i>	-	LC	-	R, MV	MA, NT
<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	-	LC	-	R, MI	NA, MA
<i>Hirundo rustica</i>	-	LC	-	MV, MI, T, R	NA, MA, NT
<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>	-	LC	-	MV, T	NA, MA, NT
<b>Aegithalidae</b>					
<i>Psaltriparus minimus</i>	-	LC	-	R	NA-MA
<b>Regulidae</b>					
<i>Regulus satrapa</i>	-	LC	-	R, MI	NA-MA
<i>Regulus calendula</i>	-	LC	-	MI	NA-MA
<b>Troglodytidae</b>					
<i>Campylorhynchus megalopterus</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Campylorhynchus humilis</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Campylorhynchus gularis</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Salpinctes obsoletus</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Catherpes mexicanus</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Cistothorus palustris</i>	-	LC	-	MI, R	NA
<i>Thryomanes bewickii</i>	-	LC	-	R	NA
<i>Pheugopedius felix</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Thryophilus sinaloa</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Troglodytes aedon</i>	-	LC	-	R, MI, T	NA, MA, NT



**Apéndice 2. Lista de especies de aves del complejo volcánico de Colima.**

Taxones	NOM-059	IUCN	Endemismo	Estacionalidad	A. biogeográfica
<i>Uropsila leucogastra</i>	-	LC	CE	R	MA
<i>Henicorhina leucophrys</i>	-	LC	-	R	MA, NT
Poliopitilidae					
<i>Polioptila caerulea</i>	-	LC	-	MI, R	NA-MA
<i>Polioptila nigriceps</i>	-	LC	EN	R	NA-MA
Sittidae					
<i>Sitta pygmaea</i>	-	LC	-	R	NA-MA
<i>Sitta carolinensis</i>	-	LC	-	R	NA
Certhiidae					
<i>Certhia americana</i>	-	LC	-	R, MI	NA-MA
Mimidae					
<i>Mimus polyglottos</i>	-	LC	-	R, MI	NA, MA
<i>Toxostoma curvirostre</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Melanotis caerulescens</i>	-	LC	EN	R	MA
Turdidae					
<i>Ridgwayia pinicola</i>	PR	LC	EN	R	MA
<i>Sialia sialis</i>	-	LC	-	MI, R	NA, MA
<i>Myadestes occidentalis</i>	PR	LC	-	R	MA
<i>Catharus aurantiirostris</i>	-	LC	-	R, MI	MA, NT
<i>Catharus occidentalis</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Catharus frantzii</i>	A	LC	-	R	MA
<i>Catharus ustulatus</i>	-	LC	-	T, MI	NA, MA, NT
<i>Catharus guttatus</i>	-	LC	-	MI	NA, MA
<i>Turdus assimilis</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Turdus rufopalliatu</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Turdus migratorius</i>	-	LC	-	R, MI	NA, MA
Passeridae					
<i>Passer domesticus</i>	-	LC	-	R	EXO
Peucedramidae					
<i>Peucedramus taeniatus</i>	-	LC	-	R	NA-MA
Motacillidae					
<i>Anthus rubescens</i>	-	LC	-	MI	NA-MA
Fringillidae					
<i>Haemorhous mexicanus</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Loxia curvirostra</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Spinus psaltria</i>	-	LC	-	R	NA, MA, NT
<i>Spinus pinus</i>	-	LC	-	R, MI	NA, MA
<i>Spinus notatus</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Euphonia affinis</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Euphonia elegantissima</i>	-	LC	-	R	MA

**Apéndice 2. Lista de especies de aves del complejo volcánico de Colima.**

Taxones	NOM-059	IUCN	Endemismo	Estacionalidad	A. biogeográfica
<b>Parulidae</b>					
<i>Seiurus aurocapilla</i>	-	LC	-	MI	NA, MA, NT
<i>Parkesia motacilla</i>	-	LC	-	MI	NA, MA, NT
<i>Parkesia noveboracensis</i>	-	LC	-	MI	NA, MA, NT
<i>Mniotilta varia</i>	-	LC	-	MI	NA, MA, NT
<i>Oreothlypis superciliosa</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Leiothlypis celata</i>	-	LC	-	MI, R	NA, MA
<i>Leiothlypis crissalis</i>	PR	LC	SE	MI, MV	NA
<i>Leiothlypis luciae</i>	-	LC	SE	MI, MV	NA, MA
<i>Leiothlypis ruficapilla</i>	-	LC	-	MI	NA, MA
<i>Leiothlypis virginiae</i>	-	LC	SE	MI	NA
<i>Geothlypis poliocephala</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Geothlypis tolmiei</i>	A	LC	-	MI	NA, MA
<i>Geothlypis trichas</i>	-	LC	-	MI, R	NA, MA, NT
<i>Setophaga ruticilla</i>	-	LC	-	MI	NA, MA, NT
<i>Setophaga pitiayumi</i>	-	LC	-	R, MV	MA, NT
<i>Setophaga magnolia</i>	-	LC	-	MI	NA, MA
<i>Setophaga petechia</i>	-	LC	-	MI, MV, T, R	NA, MA, NT
<i>Setophaga palmarum</i>	-	LC	-	MI	NA, MA
<i>Setophaga coronata</i>	-	LC	-	MI, R	NA, MA
<i>Setophaga auduboni</i>	-	LC	-	MI, R	NA, MA
<i>Setophaga graciae</i>	-	LC	-	R, MV	NA, MA
<i>Setophaga nigrescens</i>	-	LC	SE	MI	NA
<i>Setophaga townsendi</i>	-	LC	-	MI	NA, MA
<i>Setophaga occidentalis</i>	-	LC	-	MI	NA, MA
<i>Setophaga virens</i>	-	LC	-	MI	NA, MA, NT
<i>Basileuterus lachrymosus</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Basileuterus rufifrons</i>	-	LC	CE	R	MA, NT
<i>Basileuterus belli</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Basileuterus culicivorus</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Cardellina pusilla</i>	-	LC	-	MI	NA, MA
<i>Cardellina rubrifrons</i>	-	LC	SE	MI, MV	NA, MA
<i>Cardellina rubra</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Myioborus pictus</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Myioborus miniatus</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<b>Icteriidae</b>					
<i>Icteria virens</i>	-	LC	-	MI, MV	NA-MA
<b>Icteridae</b>					
<i>Xanthocephalus xanthocephalus</i>	-	LC	-	MI	NA, MA
<i>Sturnella magna</i>	-	LC	-	R	NA, MA, NT

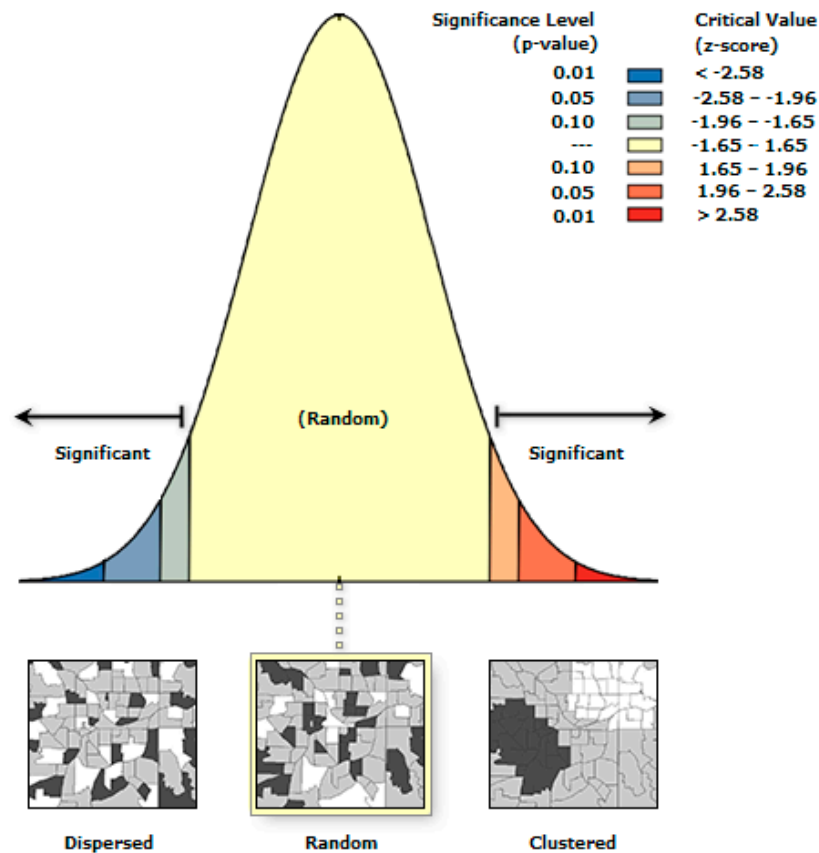
**Apéndice 2. Lista de especies de aves del complejo volcánico de Colima.**

Taxones	NOM-059	IUCN	Endemismo	Estacionalidad	A. biogeográfica
<i>Cassiculus melanicterus</i>	-	LC	CE	R	MA
<i>Icterus parisorum</i>	-	LC	SE	R, MV, MI	NA, MA
<i>Icterus graduacauda</i>	-	LC	CE	R	NA, MA
<i>Icterus bullockii</i>	-	LC	SE	MI, MV	NA, MA
<i>Icterus pustulatus</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Icterus abeillei</i>	-	LC	EN	R, MI	MA
<i>Icterus galbula</i>	-	LC	-	MI	NA, MA, NT
<i>Icterus wagleri</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Icterus cucullatus</i>	-	LC	SE	MI, MV, R	NA, MA
<i>Icterus spurius</i>	-	LC	-	MI, MV	NA, MA
<i>Agelaius phoeniceus</i>	-	LC	-	R, MI	NA, MA
<i>Molothrus aeneus</i>	-	LC	-	R, MV	NA, MA
<i>Molothrus ater</i>	-	LC	-	R, MI	NA, MA
<i>Euphagus cyanocephalus</i>	-	LC	-	MI, R	NA, MA
<i>Quiscalus mexicanus</i>	-	LC	-	R	NA, MA, NT
Passerellidae					
<i>Melospiza lincolni</i>	-	LC	-	MI	NA, MA
<i>Melospiza georgiana</i>	-	LC	-	MI	NA
<i>Zonotrichia leucophrys</i>	-	LC	-	MI	NA
<i>Junco hyemalis</i>	-	LC	-	MI, R	NA
<i>Junco phaeonotus</i>	-	LC	CE	R	NA, MA
<i>Passerculus sandwichensis</i>	-	LC	-	MI, R	NA, MA
<i>Ammodramus savannarum</i>	-	LC	-	MI, R	NA, MA
<i>Spizella passerina</i>	-	LC	-	R, MI	NA, MA
<i>Spizella atrogularis</i>	-	LC	-	R, MI	NA, MA
<i>Spizella pallida</i>	-	LC	SE	MI	NA
<i>Pooecetes gramineus</i>	-	LC	-	MI	NA
<i>Chondestes grammacus</i>	-	LC	-	MI, R	NA, MA
<i>Peucaea ruficauda</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Peucaea humeralis</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Peucaea botterii</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Aimophila ruficeps</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Aimophila rufescens</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Pipilo chlorurus</i>	-	LC	-	MI, R	NA
<i>Pipilo ocai</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Pipilo maculatus</i>	-	LC	-	R, MI	NA, MA
<i>Melozone fusca</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Melozone kieneri</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Arremonops rufivirgatus</i>	-	LC	CE	R	NA, MA
<i>Arremon virenticeps</i>	-	LC	EN	R	MA

**Apéndice 2. Lista de especies de aves del complejo volcánico de Colima.**

Taxones	NOM-059	IUCN	Endemismo	Estacionalidad	A. biogeográfica
<i>Atlapetes pileatus</i>	-	LC	EN	R	MA
Thraupidae					
<i>Diglossa baritula</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Saltator coerulescens</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Volatinia jacarina</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Sporophila torqueola</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Sporophila minuta</i>	-	LC	-	R	MA, NT
Rhodinocichlidae					
<i>Rhodinocichla rosea</i>	-	LC	-	R	MA-NT
Cardinalidae					
<i>Piranga bidentata</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Piranga hepatica</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Piranga rubra</i>	-	LC	-	MI, MV	NA, MA, NT
<i>Piranga ludoviciana</i>	-	LC	-	MI	NA, MA
<i>Piranga erythrocephala</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Habia rubica</i>	-	LC	-	R	MA, NT
<i>Pheucticus chrysopheplus</i>	-	LC	CE	R	MA
<i>Pheucticus ludovicianus</i>	-	LC	-	MI, T	NA, MA, NT
<i>Pheucticus melanocephalus</i>	-	LC	SE	R, MI, MV	NA
<i>Granatellus venustus</i>	-	LC	EN	R	MA
<i>Cardinalis cardinalis</i>	-	LC	-	R	NA, MA
<i>Amaurospiza concolor</i>	P		-	R	MA
<i>Spiza americana</i>	-	LC	-	T, MI	NA, MA, NT
<i>Cyanocompsa parellina</i>	-	LC	-	R	MA
<i>Passerina caerulea</i>	-	LC	-	MI, R, MV	NA, MA
<i>Passerina cyanea</i>	-	LC	-	MI	NA, MA, NT
<i>Passerina amoena</i>	-	LC	SE	MI, MV	NA
<i>Passerina versicolor</i>	-	LC	-	R, MV	NA, MA
<i>Passerina ciris</i>	PR	NT	-	MI, MV	NA, MA
<i>Passerina leclancherii</i>	-	LC	EN	R	MA

Apéndice 3. Correlación espacial. Se calculó la I de Moran para determinar si hay correlación espacial entre las riquezas de los polígonos. En ArcMap 10 se proyectó una capa con los centroides de los polígonos (coordenadas X, Y) y el número de especies por polígono. Se usó la herramienta Spatial Autocorrelation (Morans I) de Spatial Statistics. Los parámetros se configuraron de la siguiente manera: Input Feature Class = capa; Input Field = riqueza; Conceptualization = inverse\_distance; Distance Method = Euclidean, Row Standardization = false, Distance Threshold = 11,613.0002 m; Weights Matrix File = none; Selection Set = false. Los resultados muestran que la distribución es aleatoria. Índice de Moran = -0.095, índice esperado = -0.032, varianza = 0.008, puntuación z = -0.69, valor p = 0.48.



**Apéndice 4. Datos usados para calcular la correlación espacial.**

Polígono	CentroideX	CentroideY	Riqueza de especies
1	-103.711731	19.374807	30
2	-103.700337	19.40961	57
3	-103.590285	19.555274	84
4	-103.662448	19.566442	100
5	-103.692772	19.507928	122
6	-103.565754	19.532164	117
7	-103.664969	19.489026	37
8	-103.601429	19.549843	307
9	-103.684124	19.441824	99
10	-103.692059	19.395219	231
11	-103.719006	19.432207	52
12	-103.671768	19.459228	171
13	-103.505623	19.635033	53
14	-103.681015	19.483107	124
15	-103.496109	19.533047	99
16	-103.459897	19.496852	200
17	-103.47514	19.51357	170
18	-103.831758	19.546936	5
19	-103.742019	19.400004	54
20	-103.748943	19.469434	6
21	-103.705573	19.350239	47
22	-103.709781	19.469342	298
23	-103.680888	19.439169	79
24	-103.507295	19.52534	205
25	-103.544524	19.609992	106
26	-103.611869	19.661697	211
27	-103.737068	19.445217	232
28	-103.711667	19.431102	248
29	-103.733241	19.499207	93
30	-103.70827	19.369362	35
31	-103.614556	19.569776	57
32	-103.436623	19.524652	40

**Referencias**

- Arizmendi, M. C. y Márquez-Valdelamar, L. (2000). *Áreas de importancia para la Conservación de las Aves en México*, AICAS. México D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Arriaga, C. L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. y Loa, E. (Eds.). (2000). *Regiones terrestres prioritarias de México*. México D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Baselga, A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 19, 134–143. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x>
- Baselga, A. y Orme, D. L. (2012). betapart: an R package for the study of beta diversity. *Methods in Ecology and Evolution*, 3, 808–812. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00224.x>
- Berlanga, H., Gómez-de Silva, H., Vargas-Canales, V. M., Rodríguez-Contreras, V., Sánchez-González, L. A., Ortega-Álvarez, R. et al. (2019). *Aves de México: lista actualizada de especies y nombres comunes*. México D.F.: Conabio.
- BirdLife International. (2019). *Endemic Bird Areas factsheet: Sierra Madre Occidental and trans-Mexican range*. BirdLife International, Cambridge. Recuperado el 8 septiembre, 2019 de: <http://www.birdlife.org>
- Bruijnzeel, L. A., Waterloo, M. J., Proctor, J., Kuiters, A. T. y Kotterink, B. (1993). Hydrological observations in montane rain forest on Gunung Silam, Sabah, Malaysia, with special reference to the ‘Massenerhebung’ effect. *Journal of Ecology*, 81, 145–167. <https://doi.org/10.2307/2261231>
- Capra, L., Gavilanes-Ruiz, J. C., Bonasia, R., Saucedo-Girón, R. y Sulpizio, R. (2015). Re-assessing volcanic hazard zonation of Volcán de Colima, México. *Natural Hazards*, 76, 41–61. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1480-1>
- Capra, L., Macías, J. L., Cortés, A., Dávila, N., Saucedo, R., Osorio-Ocampo, S. et al. (2016). Preliminary report on the July 10-11, 2015 eruption at Volcán de Colima: Pyroclastic density currents with exceptional runouts and volumen. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 310, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.11.022>
- Castillo-Chora, V. J., Sánchez-González, L. A., Mastretta-Yanes, A., Prieto-Torres, D. A. y Navarro-Sigüenza, A. G. (2021). Insights into the importance of areas of climatic stability in the evolution and maintenance of avian diversity in the Mesoamerican dry forests. *Biological Journal of the Linnean Society*, 132, 741–758. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blaa202>
- Cervantes-Zamora, Y., Cornejo-Olguín, S. L., Lucero-Márquez, R., Espinoza-Rodríguez, J. M., Miranda-Viquez, E. y Pineda-Velázquez, A. (1990). Provincias fisiográficas de México, escala 1:4000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. Recuperado el 10 septiembre, 2019 de: [www.conabio.gob.mx/informacion/gis/](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/)
- Chávez-Hernández, A. (2009). Las unidades ambientales o de paisaje del CVC. En R. Miranda-Guerrero y A. Chávez-

- Hernández (Eds.), *Parque Nacional Nevado de Colima. Contexto natural y paisajes* (pp. 137–171). México D.F.: Universidad de Guadalajara.
- Chazdon, R. L., Colwell, R. K., Denslow, J. S. y Guariguata, M. R. (1998). Statistical methods for estimating species richness of woody regeneration in primary and secondary rain forests of NE Costa Rica. En F. Dallmeier y J. A. Comiskey (Eds.), *Forest biodiversity research, monitoring and modeling: conceptual background and Old World case studies* (pp. 285–309). Paris: Parthenon Publishing.
- Chesson, P. L. y Huntly, N. (1997). The role of harsh and fluctuating conditions in the dynamics of ecological systems. *American Naturalist*, 150, 519–553. <https://doi.org/10.1086/286080>
- Cody, M. L. (1985). An introduction to habitat selection in birds. En M. L. Cody (Ed.), *Habitat selection in birds* (pp. 3–56). New York: Academic Press.
- Colwell, R. K. (2013). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples, version 9.1. Recuperado el 06 mayo, 2018 de: <https://viceroy.colorado.edu/estimates/>. <https://doi.org/10.1111/ecog.00814>
- Comisión para la Cooperación Ambiental. (1999). *Áreas importantes para la conservación de las Aves de América del Norte*. Montreal, Canadá: Comisión para la Cooperación Ambiental.
- Conanp (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2006). *Programa de conservación y manejo Parque Nacional Volcán Nevado de Colima*. México D.F.: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Connell, J. H. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199, 1302–1310. <http://doi.org/10.1126/science.199.4335.1302>
- Cortés-Ramírez, G., Ríos-Muñoz, C. A. y Navarro-Sigüenza, A. G. (2019). Influence of phylogenetic structure and climate gradients on geographical variation in the morphology of Mexican flycatcher forest assemblages (Aves: Tyrannidae). *PeerJ*, 7, e6754. <https://doi.org/10.7717/peerj.6754>
- Crisafulli, C. M., Swanson, F. J., Halvorson, J. J. y Clarkson, B. D. (2015). Volcano Ecology: disturbance characteristics and assembly of biological communities. En H. Sigurdsson, B. Houghton, S. R. McNutt, H. Rymmer y J. Stix (Eds.), *The Encyclopedia of Volcanoes* (pp. 1265–1284). Estados Unidos: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00073-0>
- Cruz-Sáenz, D., Muñoz-Nolasco, F. J., Mata-Silva, V., Johnson, J. D., García-Padilla, E. y Wilson, L. D. (2017). The herpetofauna of Jalisco, Mexico: composition, distribution, and conservation. *Mesoamerican Herpetology*, 4, 23–118.
- Dalsgaard, B., Hilton, G. M., Gray, G. A. L., Aymer, L., Boatswain, J., Daley, J. et al. (2007). Impacts of a volcanic eruption of the forest bird community of Montserrat, Lesser Antilles. *Ibis*, 149, 298–312. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00631.x>
- Derksen, S. y Keselman, H. J. (1992). Backward, forward, and stepwise automated subset selection algorithms: Frequency of obtaining authentic and noise variables. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 45, 265–282. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8317.1992.tb00992.x>
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (1936). Decreto que declara Parque Nacional el Nevado de Colima, incluyendo el Cerro Grande. México: Diario Oficial de la Federación 5 de septiembre de 1936.
- Environmental Systems Research Institute Inc. (2010). ArcMap 10. Redlands, California.
- Ferger, S. W., Peters, M. K., Appelhans, T., Detsch, F., Hemp, A., Nauss, T. et al. (2017). Synergistic effects of climate and land use on avian beta-diversity. *Diversity and Distribution*, 23, 1246–1255. <https://doi.org/10.1111/ddi.12615>
- Ferrari, L., López-Martínez, M., Aguirre-Díaz, G. y Carrasco-Núñez, G. (1999). Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico: from the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt. *Geology*, 27, 303–306. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1999\)027<0303:STPOCA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1999)027<0303:STPOCA>2.3.CO;2)
- Ferrari, L., López-Martínez, M. y Rosas-Elguera, J. (2002). Ignimbrite flare-up and deformation in the southern Sierra Madre Occidental, western Mexico: implications for the late subduction history of the Farallon plate. *Tectonics*, 21, 1–24. <https://doi.org/10.1029/2001TC001302>
- Ferro, I., Navarro-Sigüenza, A. G. y Morrone, J. J. (2017). Biogeographical transitions in the Sierra Madre Oriental, Mexico, shown by chorological and evolutionary biogeographical affinities of Passerine birds (Aves: Passeriformes). *Journal of Biogeography*, 44, 2145–2160. <https://doi.org/10.1111/jbi.13015>
- Flesch, A. D. (2018). Patterns and drivers of long-term changes in breeding bird communities in a global biodiversity hotspot in Mexico. *Diversity and Distribution*, 25, 499–513. <https://doi.org/10.1111/ddi.12862>
- Fukami, T. (2015). Historical contingency in community assembly: integrating niches, species pools, and priority effects. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46, 1–23. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110411-160340>
- Gámez, N., Escalante, T., Rodríguez, G., Linaje, M. y Morrone, J. J. (2012). Caracterización biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana y análisis de los patrones de distribución de su mastofauna. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 258–272. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2012.1.786>
- Gill, F., Donsker, D. y Rasmussen, P. (2020). IOC World Bird List (v10.2). Recuperado el 03 noviembre, 2020 de: <https://doi:10.14344/IOC.ML.10.2>
- Global Biodiversity Information Facility. (2018). GBIF Occurrence Download. Recuperado el 01 agosto, 2018 de: <https://doi.org/10.15468/dl.wn32m0>
- Gobierno de Jalisco. (2009). Decreto que declara, Área Natural Protegida de Competencia Estatal al Parque Estatal Bosque Mesófilo Nevado de Colima. Jalisco, México: Periódico Oficial del Estado de Jalisco 11 de julio de 2009.
- Gómez-de Silva, H. y Medellín, R. A. (2001). Evaluating completeness of species lists for conservation and macroecology: a case study of Mexican land birds. *Conservation Biology*, 15, 1384–1395. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2001.00177.x>

- González-García, F. y Gómez-de Silva, H. (2002). Especies endémicas: riqueza, patrones de distribución y retos para su conservación. En H. Gómez-de Silva y A. Oliveras-de Ita (Eds.), *Conservación de aves: experiencias en México* (pp. 150–194). México D.F.: CIPAMEX.
- Gotelli, N. J. y Colwell, R. K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4, 379–391. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2001.00230.x>
- Graham, C. H., Carnaval, A. C., Cadena, C. D., Zamudio, K. R., Roberts, T. E., Parra, J. L. et al. (2014). The origin and maintenance of montane diversity: integrating evolutionary and ecological processes. *Ecography*, 37, 711–719. <https://doi.org/10.1111/ecog.00578>
- Greenberg, R. (1986). Competition in migrant birds in the nonbreeding season. En R. F. Johnston (Eds.), *Current Ornithology*, Vol. 3 (pp. 281–307). Boston, MA: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6784-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6784-4_6)
- Halffter, G. (1962). Explicación preliminar de la distribución geográfica de los Scarabaeidae mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana*, 5, 1–17.
- Halffter, G. (1976). Distribución de los insectos en la Zona de Transición Mexicana: Relaciones con la entomofauna de Norteamérica. *Folia Entomológica Mexicana*, 35, 1–64.
- Hanz, D. M., Böhning-Gaese, K., Ferger, S. W., Fritz, S. A., Neuschulz, E. L., Quitián, M. et al. (2019). Functional and phylogenetic diversity of bird assemblages are filtered by different biotic factor on tropical mountains. *Journal of Biogeography*, 46, 291–303. <https://doi.org/10.1111/jbi.13489>
- Howell, S.N.G. y Webb, S. (1995). *A guide to the birds of México and Northern Central America*. Oxford: Oxford University Press.
- Hutto, R. L. (1980). Winter habitat distribution of migratory land birds in western Mexico, with special reference to small, foliage-gleaning insectivores. En A. Keast y E. S. Morton (Eds.), *Migrant birds in the Neotropics: ecology, behavior, distribution, and conservation* (pp. 181–203). Washington D.C.: Smithsonian Institution Press.
- Hutto, R. L. (1987). A description of mixed-species insectivorous bird flocks in western Mexico. *Condor*, 89, 282–292. <https://doi.org/10.2307/1368481>
- Hutto, R. L. (2010). Aspectos ecológicos únicos asociados con las aves migratorias de larga distancia del occidente de México. En G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury-Creel y R. Dirzo (Eds.), *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México* (pp. 215–232). México, D.F.: Fondo de Cultura Económica/ Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/ Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas/ Alianza WWF-Telcel/ Ecociencia S.C./ Telmex.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2016). Uso de suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VI (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. Recuperado el 03 noviembre, 2019 de: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Johnson, J. B. y Omland, K. S. (2004). Model selection in ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution*, 19, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2003.10.013>
- Koleff, P., Gaston, K. J. y Lennon, J. J. (2003). Measuring beta diversity for presence-absence data. *Journal of Animal Ecology*, 72, 367–382. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.2003.00710.x>
- Körner, C. (2012). *Alpine treelines. Functional Ecology of the global high elevation tree limits*. Berlín: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-0348-0396-0>
- Kraft, N. J. B., Adler, P. B., Godoy, O., James, E. C., Fuller, S. y Levine, J. M. (2015). Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor. *Functional Ecology*, 29, 592–599. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12345>
- Lammertink, J. M., Rojas-Tome, J. A., Casillas-Orona, F. M. y Otto, R. L. (1996). *Status and conservation of old-growth forests and endemic birds in the pine-oak zone of the Sierra Madre Occidental, Mexico*. Amsterdam: Institute for Systematics and Population Biology (Zoological Museum) University of Amsterdam.
- Langle-Flores, A., Barba-Robert, E. M. y Reyes-Magallanes, A. (2011). Estatus invernal de *Junco hyemalis* en el estado de Jalisco, México. *Huitzil*, 12, 5–8.
- López-Loera, H., Urrutia-Fucugauchi, J. y Alva-Valdivia, L. (2011). Estudio aeromagnético del Complejo Volcánico de Colima, occidente de México - implicaciones tectónicas y estructurales. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 28, 349–370.
- Lugo-Hubp, J. y Córdova, C. (1992). Regionalización geomorfológica de la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas*, 25, 25–63. <https://doi.org/10.14350/ig.59012>
- Luna-Vega, I., Morrone J. J. y Espinosa D. (2007). *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. Ciudad de México: UNAM.
- Maarse, M., Verwij, P. A. y Navarro-Pérez, S. (2012). Patterns in vegetation composition in the Volcanic Complex of Colima, Mexico. En E. Salcedo-Pérez, E. Hernández-Álvarez, J. A. Vázquez-García, T. Escoto-García y N. Díaz-Echavarría (Eds.), *Recursos forestales en el occidente de México, Tomo I* (pp. 23–49). Guadalajara, Jalisco: Universidad de Guadalajara.
- MacGregor, I. y Payton, M. E. (2013). Constrasting Diversity Values: Statistical Inferences Based on Overlapping Confidence Intervals. *Plos One*, 8, e56794. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056794>
- May, R. M. (1977). Thresholds and breakpoints in ecosystems with a multiplicity of stable states. *Nature*, 269, 471–477. <https://doi.org/10.1038/269471a0>
- Maya-García, O. (2014). *Efecto de la capacidad digestiva sobre una comunidad de colibríes (Tesis de maestría)*. Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Michoacán, México. <http://132.248.9.195/ptd2014/octubre/0721097/Index.html>



- McCain, C. M. (2004). The mid-domain effect applied to elevational gradients: species richness of small mammals in Costa Rica. *Journal of Biogeography*, 31, 19–31. <https://doi.org/10.1046/j.0305-0270.2003.00992.x>
- McCain, C. M. y Grytnes, J. A. (2010). Elevational gradients in species richness. En *Encyclopedia of Life Science*. Chichester: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0022548>
- Mittelbach, G. G. y McGill, B. J. (2019). *Community Ecology*. Oxford: Oxford University Press.
- Montaño-Centellas, F. A., McCain, C. y Loiselle, B. A. (2019). Using functional and phylogenetic diversity to infer avian community assembly along elevational gradients. *Global Ecology and Biogeography*, 29, 232–245. <https://doi.org/10.1111/geb.13021>
- Monterrubio-Rico, T. C. y Escalante-Pliego, P. (2006). Richness, distribution and conservation status of cavity nesting birds in Mexico. *Biological Conservation*, 128, 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.017>
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. Zaragoza: M&T-Manuales y Tesis SEA.
- Morrone, J. J. (2001). *Biogeografía de América Latina y el Caribe*. Zaragoza: M&T-Manuales y Tesis SEA.
- Morrone, J. J. y Escalante, T. (2011). *Diccionario de biogeografía*. Ciudad de México: Las prensas de Ciencias, UNAM.
- Murtagh, F. y Legendre, P. (2014). Ward's Hierarchical Agglomerative Clustering Method: which algorithms implement ward's criterion? *Journal of Classification*, 31, 274–295. <https://doi.org/10.1007/s00357-014-9161-z>
- Navarro-Sigüenza, A. G., Gordillo-Martínez, A., Townsend-Peterson, A., Ríos-Muñoz, C. A., Gutiérrez-Arellano, C. R., Méndez-Aranda, D. et al. (2018). -Aves- Distribución potencial, escala 1:300000. Museo de Zoología Alfonso L. Herrera, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. Recuperados el 16 enero, 2019 de: [www.conabio.gob.mx/informacion/gis/](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/)
- Navarro-Sigüenza, A. G., Lira-Noriega, A., Peterson, A. T., Oliveras de Ita, A. y Gordillo-Martínez, A. (2007). Diversidad, endemismo y conservación de las aves. En I. Luna, J. J. Morrone y D. Espinosa (Eds.), *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana* (pp. 461–483). Ciudad de México: UNAM.
- Navarro-Sigüenza, A. G. y Peterson, A. T. (2004). An alternative species taxonomy of the birds of Mexico. *Biota Neotropica*, 4, 1–32. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032004000200013>
- Navarro-Sigüenza, A. G., Peterson, A. T. y Gordillo-Martínez, A. (2002). A Mexican case study on a centralized database from world natural history museums. *CODATA Data Science Journal*, 1, 45–53. <https://doi.org/10.2481/dsj.1.45>
- Navarro-Sigüenza, A. G., Peterson, A. T. y Gordillo-Martínez, A. (2003). Museums working together: the atlas of the birds of Mexico. En N. C. Collar, C. Fisher y C. Feare (Eds.), *Why museums matter: avian archives in an age of extinction* (pp. 207–225). Bulletin British Ornithologists' Club Supplement, 123A.
- Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T., Berlanga-García, H. y Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad, Supl. 85*, S476–S495. <https://doi.org/10.7550/rmb.41882>
- Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V. N., Underwood, E. C. et al. (2001). Terrestrial ecoregions of the World: a new map of life on Earth: a new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. *BioScience*, 51, 933–938. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0933:TEOTWA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2)
- Palacio, F. X., Apodaca, M. J. y Crisci, J. V. (2020). *Análisis multivariado para datos biológicos: teoría y aplicación utilizando el lenguaje R*. Buenos Aires: Fundación de Historia Natural Félix de Azara.
- Payne, R. J. y Egan, J. (2019). Using palaeoecological techniques to understand the impacts of past eruptions. *Quaternary International*, 499, 278–289. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.12.019>
- Peterson, A. T. y Navarro-Sigüenza, A. G. (2009). Constructing check-list and avifauna-wide reviews: Mexican bird taxonomy revisited. *The Auk*, 126, 915–921. <https://doi.org/10.1525/auk.2009.91009>
- Pineda, E. y Moreno, C. E. (2015). Evaluación de la diversidad de especies en ensamblajes de vertebrados: un primer acercamiento midiendo y comparando la riqueza de especies. En S. Gallina-Tessaro (Ed.), *Manual de técnicas del estudio de la fauna* (pp. 115–133). Xalapa, Veracruz: Instituto de Ecología A.C.
- Presley, S., Higgins, C. y Willig, M. (2010). A comprehensive framework for the evaluation of metacommunity structure. *Oikos*, 119, 908–917. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18544.x>
- R Core Team. (2020). R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado el 08 noviembre, 2020 de: <https://www.r-project.org>
- Rahbek, C. (1997). The relationship among area, elevation, and regional species richness in neotropical birds. *The American Naturalist*, 149, 875–902. <https://doi.org/10.1086/286028>
- Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., DeSante, D. F. y Milá, B. (1996). *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres*. Albany, California: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. <https://doi.org/10.2737/PSW-GTR-159>
- Rapoport, E. (1975). *Areografía: estrategias geográficas de las especies*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Rappole, J. H., Morton, E. S., Lovejoy III, T. E. y Rous, J. L. (1983). *Nearctic avian migrants in the Neotropics*. Washington D.C.: USDI Fish and Wildlife Service.
- Reyes-Dávila, G. A., Arámbula-Mendoza, R., Espinosa-Pereña, R., Pankhurst M. J., Navarro-Ochoa, C., Savov, I. et al. (2016). Volcán de Colima dome collapse of July, 2015 and associated pyroclastic density currents. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 320, 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2016.04.015>

- Ricklefs, R. E. (1987). Community diversity: relative roles of local and regional processes. *Science*, 235, 167–171. <https://doi.org/10.1126/science.235.4785.167>
- Ríos-Muñoz, C. A. (2013). ¿Es posible reconocer una unidad biótica entre América del Norte y del Sur? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84, 1022–1030. <https://doi.org/10.7550/rmb.34170>
- Rodríguez, P., Ochoa-Ochoa, L. M., Munguía, M., Sánchez-Cordero, V., Navarro-Sigüenza, A. G., Flores-Villela, O. A. et al. (2019). Environmental heterogeneity explains coarse-scale  $\beta$ -diversity of terrestrial vertebrates in Mexico. *Plos One*, 14, e0210890. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210890>
- Sánchez-González, L. A., Navarro-Sigüenza, A. G., Ornelas, J. F. y Morrone, J. J. (2013). What's in a name?: Mesoamerica. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84, 1305–1308. <https://doi.org/10.7550/rmb.34171>
- Santana, C. E., Rodríguez-Parga, L. M., Contreras-Martínez, S., Verdugo-Munguía, H., Hernández-Vázquez, S., Reyna-Bustos, O. et al. (2017). Aves. En Conabio (Ed.), *La biodiversidad de Jalisco. Estudio de estado, Vol. II* (pp. 309–325). México D.F.: Conabio.
- Saucedo, R., Macías, J. L., Gavilanes, J. C., Arce, J. L., Komorowski, J. C., Gardner, J. E. et al. (2010). Eyewitness, stratigraphy, chemistry, and eruptive dynamics of the 1913 Plinian eruption of Volcán de Colima, México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 191, 149–166. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2010.01.011>
- Savage, J. M. (1966). The origins and history of the Central American herpetofauna. *Copeia*, 1966, 719–766. <https://doi.org/10.2307/1441404>
- Savage, J. M. (1982). The enigma of the Central American herpetofauna: dispersals or vicariance? *Annals of the Missouri Botanical Garden Press*, 69, 464–547. <https://doi.org/10.2307/2399082>
- Schaldach, W. J., Jr. (1963). The avifauna of Colima and adjacent Jalisco, Mexico. *Proceedings of the Western Foundation of Vertebrate Zoology*, 1, 1–100.
- Schnell, G. D., Weske, J. S. y Hellack, J. J. (1974). Recent Observations of Thick-Billed Parrots in Jalisco. *The Wilson Bulletin*, 86, 464–465.
- 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*. México: Diario Oficial de la Federación 30 de diciembre 2010.
- Sergio, F., Blas, J. y Hiraldo, F. (2018). Animal responses to natural disturbance and climate extremes: a review. *Global and Planetary Change*, 161, 28–40. <http://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.10.009>
- Shipley, B. (2010). *From plant traits to vegetation structure. Chance and selection in the assembly of ecological communities*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Snyder, N. F., Enkerlin-Hoeflich, E. C., Cruz-Nieto, M. A., Valdes-Peña, R. A., Ortiz-Maciel, S. G. y Cruz-Nieto, J. (2020). Thick-billed Parrot (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*), version 1.0. Birds of the World, Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York. Recuperado el 2 enero, 2020 de: <https://doi.org/10.2173/bow.thbpar.01>
- Stotz, D. F., Fitzpatrick, J. W., Parker III, T. A. y Moskovits, D. K. (1996). *Neotropical birds. Ecology and Conservation*. Chicago, Illinois: The University of Chicago Press.
- Terborgh, J. (1977). Bird species diversity on an Andean elevational gradient. *Ecology*, 58, 1007–1019. <https://doi.org/10.2307/1936921>
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). (2020). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-3. Recuperado el 01 diciembre, 2020 de: <https://www.iucnredlist.org>
- Vázquez-Reyes, L. D., Jiménez-Arcos, V. H., SantaCruz-Padilla, S. A., García-Aguilera, R., Aguirre-Romero, A., Arizmendi, M. C. et al. (2018). Aves del Alto Balsas de Guerrero: diversidad e identidad ecológica de una región prioritaria para la conservación. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89, 873–897. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.2314>
- Vellend, M. (2010). Conceptual synthesis in community ecology. *The Quarterly Review of Biology*, 85, 183–206. <https://doi.org/10.1086/652373>
- Villalobos, A. (2021). *Soil geochemistry characterization and climate vulnerability projections to bark beetle-pine dynamics at “Volcán Nevado de Colima”, Mexico (Tesis de maestría)*. Earth Science and Geoscience Faculty, Utrecht University. Países Bajos.
- Weir, J. T., Bermingham, E. y Schluter, D. (2009). The great American biotic interchange in birds. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 21737–21742. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903811106>
- Whittingham, M. J., Stephens, P. A., Bradbury, R. B. y Freckleton, R. P. (2006). Why do we still use stepwise modelling in ecology and behaviour? *Journal of Animal Ecology*, 75, 1182–1189. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2006.01141.x>
- Zhang, Z. (2016). Variable selection with stepwise and best subset approaches. *Annals of Translational Medicine*, 4, 136. <https://doi.org/10.21037/atm.2016.03.35>