



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**PROCESOS DE FRAGMENTACIÓN DEL HÁBITAT EN LA
SIERRA MADRE ORIENTAL POTOSINA Y SU IMPACTO EN
LA DISTRIBUCIÓN DE LA AVIFAUNA**

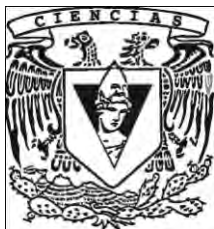
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

JAIME CASTRO NAVARRO



FACULTAD DE CIENCIAS
UNAM

DIRECTOR DE TESIS: M. en C. FRANCISCO
JAVIER SAHAGÚN SÁNCHEZ

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Hoja de datos del jurado

1. Datos del alumno:

Castro

Navarro

Jaime

59755699

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

303053231

2. Datos del asesor.

M. en C.

Francisco Javier

Sahagún

Sánchez

3. Datos del sinodal 1.

Dr.

Adolfo Gerardo

Navarro

Sigüenza

4. Datos del sinodal 2.

Dr.

Humberto

Reyes

Hernández

5. Datos del sinodal 3.

M. en C.

César Antonio

Ríos

Muñoz

6. Datos del sinodal 4.

Biól.

Alejandro

Gordillo

Martínez

7. Datos del trabajo escrito.

Procesos de fragmentación del hábitat en la Sierra Madre Oriental
potosina y su impacto en la distribución de la avifauna

103 p

2011

A María del Carmen Ortíz Barranco.

A mis padres y a mis hermanos.

*Por ser mi principal impulso y motivo que me
inspira a salir adelante...*

AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

Expreso mi más especial gratitud a mi asesor, M. en C. Francisco Javier Sahagún Sánchez por todo el apoyo y confianza brindada desde el inicio del proyecto, por las contribuciones que permitieron mejorar el trabajo y por el conocimiento transmitido, por la paciencia y los consejos, pero sobre todo por su valiosa amistad. ¡Muchas gracias Javier!

Al Dr. Humberto Reyes Hernández y a la Coordinación de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí por permitirme colaborar como asistente en el proyecto de la huasteca potosina, por facilitar la información geográfica para la realización de la presente investigación, por gestionar el financiamiento para la elaboración la misma y por los acertados comentarios al escrito. Sin su mediación ésta tesis no hubiese sido posible.

A mis sinodales, Biól. Alejandro Gordillo, M. en C. César A. Ríos y Dr. Adolfo Navarro por los valiosos comentarios y sugerencias que enriquecieron esta investigación y por la buena disposición para resolver mis dudas desde el primer momento en que me integré al Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias (MZFC). Reitero mi gratitud más sincera al Dr. Adolfo Navarro por los valiosos conocimientos que me ha transmitido desde los primeros semestres de la licenciatura, por su amistad, confianza y sugerencias necesarias para superarme académicamente. ¡Gracias Adolfo!

Agradezco a mis mejores profesores, a quienes admiro y debo gran parte de mi formación académica: a los M. en C. Guillermo Aullet Bribiesca, Irene Pisanty y Miguel A. Palomino, y a los Doctores Alejandro Marche Cova, Laura Calvillo Canadell, Antonio Lazcano, Martha Juana Martínez, Luis Felipe Jiménez, Manuel Miranda, Arturo Becerra, Livia León, Adolfo Navarro, Blanca E. Hernández y al Dr. Oscar Flores. Insto un especial agradecimiento al M. en C. Guillermo Aullet por haber sido la primera persona en vincularme con la ciencia y por haber despertado mi interés y vocación por la biología, a pesar de que reprobé la materia en su curso.

A mis compañeros, amigos, profesores y colaboradores del MZFC por la convivencia, contribución académica, orientación y buenos momentos dentro y fuera de las instalaciones del museo o en el campo: Jatziri A. Calderón Chávez, Claudia Arellano, Jesús Cabrera, Alfredo Barrera, Tania Kobelkowski, Daniela Arellano, Melisa Vázquez, Marisol Ramírez, Anuar López, Andrea Roth, Erick García, César A. Ríos, Luis A. Sánchez, Gala Cortés, Hector Olguín, Diego Roldán, Fanny Rebón, Luz E. Zamudio, Marco Ortiz, Mauricio Montaña, Daniela Tovilla, Susette Castañeda, Anahí Ávila, Deborah Espinosa, Luis Darcy Verde, Rodrigo León, Antonio Manuell, Hernán Vázquez, Martha Hernández, Samuel López de Aquino y Enrique Arbeláez.

A Jatziri A. Calderón Chávez por los acertados comentarios y sugerencias a la versión preliminar del trabajo. Gracias por el apoyo académico y sobre todo por tu amistad.

Se agradece a los colectores científicos y curadores de las siguientes colecciones científicas nacionales y extranjeras por facilitar la información biológica para la elaboración de este estudio:

Academy of Natural Sciences of Philadelphia; American Museum of Natural History; Bell Museum of Natural History, University of Minnesota; Burke Museum, University of Washington; California Academy of Sciences; Canadian Museum of Nature; Carnegie Museum of Natural History; Colección Ornitológica, Centro de Investigaciones Biológicas, UAEM; Cornell University Museum of Vertebrates; Delaware Museum of Natural History; Denver Museum of Natural History; Field Museum of Natural History; Florida Museum of Natural History; Forschungs Institut Senckenberg-Frankfurt; Los Angeles County Museum of Natural History; Louisiana State University; Moore Laboratory of Zoology, Occidental College; Museum of Natural History, Kansas University; Museum of Comparative Zoology, Harvard University; Museum National D'histoire Naturelle-Paris; Museum of Vertebrate Zoology, University of California-Los Angeles; Museum of Zoology, University of Michigan; Museo de las Aves de México; Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” Facultad de Ciencias, UNAM; National Museum of Natural History, Smithsonian Institution; Natural History Museum, British Museum; Peabody Museum, Yale University; Royal Ontario Museum; San Diego Natural History Museum; Texas Cooperative Wildlife Collections; Übersee-Museum Bremen; Western Foundation of Vertebrate Zoology; Zoological Institute and Museum of the Russian Academy of Sciences.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, mi segunda casa y mi *alma mater*.

La elaboración de esta investigación fue posible gracias a la beca otorgada a través de los fondos sectoriales SEMARNAT-CONACYT del proyecto denominado “Los procesos de deforestación en la huasteca potosina, sus implicaciones ante el cambio climático y escenarios futuros” (SEMARNAT-2006-C01-23754) dirigido por el Dr. Humberto Reyes Hernández en la Coordinación de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Esta investigación se elaboró en el Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” de la Facultad de Ciencias, UNAM, dentro de las actividades del taller “Faunística, Sistemática y Biogeografía de los vertebrados terrestres de México” dirigido por el Dr. Adolfo Gerardo Navarro Sigüenza e impartido por el cuerpo académico y curatorial del museo. Parte de la investigación se realizó gracias al apoyo financiero de la beca PAPIIT (IN 216408-2) otorgada por la DGAPA-UNAM.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Agradezco a mis padres y a mi abuelita Carmen por todo el apoyo, cariño, confianza y motivación depositada en mí en todo momento; las bases que ahora tengo son, en gran parte, producto de su ejemplo de superación y de entereza mostrada ante cualquier circunstancia. Son mi ejemplo, los admiro y los quiero. También agradezco a mis hermanos, Luis Octavio y Nidia, por la coexistencia y por mostrarme que puedo ser una persona madura o el hermano de conducta menos equilibrada en los momentos de diversión. Espero que este tipo de trabajos, en su momento, los motive y pueda ser una referencia para los logros propios.

A Lulú, a Julio, a mi hermana mayor, Belém Pilar y a mi tío Heriberto Castro, por alentarme a salir adelante cada día. Muchas gracias a ustedes y a mis tíos y primos de Sinaloa por todo el apoyo desinteresado en mi superación personal y académica. Gracias por ser mi familia.

A cada una de las personas que me han brindado su amistad y a quienes desde el primer momento que los conocí han contribuido a enseñarme a ser una mejor persona, sin ustedes la vida académica y la llegada a esta etapa hubiese sido aburrida. Gracias por los momentos divertidos que hemos pasado juntos: Alejandra Barrios, Jazmín Calyecá, Gabriela Batun, Paulina Guerrero, Jesús Cabrera, Javier Sahagún, Verónica Flores, Edgar Galicia, Guillermo González, Susana Barrios, Jessica Anselmo, Miguel Palomar Olguín, Melbi Ramos, Jatziri A. Calderón, Andrea Roth, Verónica González, Fernanda Jiménez, Gerardo Del Toro y a Diana E. García Álvarez (Qi).

A la niña bonita, por todo el tiempo que pasamos juntos dentro y fuera de las aulas, por buscar cualquier pretexto para convivir, por muchos momentos acompañados de un café y por hacer de mi estancia en la escuela más amena, llena de anécdotas y bonitos recuerdos. A pesar de mis desatinos y a veces la distancia, mi gratitud y reconocimiento hacia ti va más allá de lo académico.

A Sandra Martínez y a su familia por todas las atenciones brindadas durante mis viajes a San Luis Potosí. Gracias Sandra por el invaluable apoyo y por abrirme las puertas de tu hogar.

A Toa Loaiza Lange, Irene Chow, Javier Sahagún, Sandra Martínez, Humberto Reyes, Valeria Martín del Campo, Azalea Ortiz, Marco Costilla, Ale Silva y Jessica Lizeth por los momentos de buen humor durante y después del trabajo de campo y por las asesorías en diversos temas.

A las autoridades y comunidades de la Sierra Madre Oriental potosina por permitir y facilitar el trabajo de campo.

A las personas que intervinieron directa e indirectamente en la elaboración de esta investigación y a los lectores de este trabajo ¡Muchas gracias!

INDICE DE CONTENIDOS	PÁGINA
1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. ANTECEDENTES	4
3.1. Procesos de fragmentación del hábitat	4
3.2. Conocimiento avifaunístico	6
3.3. Modelos de nicho ecológico	8
4. ÁREA DE ESTUDIO: SIERRA MADRE ORIENTAL POTOSINA	11
4.1. Regionalización	11
4.2. Geología y Fisiografía	12
4.3. Hidrografía y Climas	13
4.4. Vegetación	15
4.5. Áreas de importancia para la conservación biológica	18
5. OBJETIVOS.....	19
5.1. General	19
5.2. Particulares	19
6. MÉTODOS	20
6.1. Análisis de la fragmentación del hábitat en la Sierra Madre Oriental potosina.....	20
6.2. Recopilación de información avifaunística	22
6.3. Lista de aves de la Sierra Madre Oriental potosina	24
6.4. Análisis de los patrones de distribución espacial de la avifauna	26
6.5. Modelado de la distribución potencial con el algoritmo MaxEnt.....	27
6.6. Determinación de la avifauna en el paisaje fragmentado y áreas de conservación	31
7. RESULTADOS.....	32
7.1. Procesos de fragmentación del hábitat en la Sierra Madre Oriental potosina	32
7.2. Composición de la avifauna	36
7.3. Patrones de distribución espacial de la avifauna	45
7.3.1. Distribución altitudinal de la avifauna	45
7.3.2. Distribución de la avifauna en los tipos de vegetación y uso del suelo	49
7.4. Distribución potencial de la avifauna en la Sierra Madre Oriental potosina	54
7.5. Determinación de la avifauna en el paisaje fragmentado y en áreas de conservación	59
8. DISCUSIÓN	63
8.1. Procesos de fragmentación del hábitat en la Sierra Madre Oriental potosina	63
8.2. Composición de la avifauna en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí	66
8.3. Patrones de distribución espacial y potencial de la avifauna.....	71
8.4. Determinación de la avifauna en el paisaje fragmentado y áreas de conservación	77
8.5. Consideraciones finales	80
9. CONCLUSIONES.....	82
10. LITERATURA CITADA	83
APÉNDICE 1. Lista Sistemáticas de las aves de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí	92

INDICE DE CUADROS

PÁGINA

Cuadro 1. Variables ambientales utilizadas para la elaboración de los modelos ecológicos de nicho.....	29
Cuadro 2. Comparación de la superficie total de los fragmentos de cada cobertura de la zona de estudio y comparación de la tasa de cambio promedio anual	33
Cuadro 3. Comparación temporal del número de parches o fragmentos para los tipos de cobertura del terreno en la Sierra Madre Oriental potosina.	33
Cuadro 4. Comparación temporal del tamaño medio de los fragmentos en los tipos de cobertura del terreno.	34
Cuadro 5. Comparación temporal del total de borde de los fragmentos por cobertura	35
Cuadro 6. Comparación temporal de la distancia media del vecino más cercano por cobertura.....	35
Cuadro 7. Especies de aves con susceptibilidad media a elevada por la fragmentación del hábitat.	65

INDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio: Sierra Madre Oriental potosina.....	12
Figura 2. Subprovincias Fisiográficas de la Sierra Madre Oriental potosina.....	13
Figura 3. Precipitación total anual en la Sierra Madre Oriental potosina	15
Figura 4. Vegetación Potencial de la Sierra Madre Oriental potosina	17
Figura 5. Ejemplo de la curva de características operativas del receptor (ROC).....	30
Figura 6. Fragmentación del hábitat en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí	36
Figura 7. Localidades únicas de registros de aves en San Luis Potosí y en la Sierra Madre Oriental potosina	37
Figura 8. Número de registros de aves por localidad única de colecta en la Sierra Madre Oriental potosina	37
Figura 9. Riqueza de aves por localidad única de colecta en la Sierra Madre Oriental potosina....	38
Figura 10. Número de registros de aves en la Sierra Madre Oriental potosina.....	39
Figura 11. Número de registros de aves en las familias del orden Passeriformes	39
Figura 12. Composición de la avifauna de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí	40
Figura 13. Número de especies de aves en las familias del orden Passeriformes	40
Figura 14. Número de familias y especies de aves agrupadas por orden en alguna categoría de endemismo	42
Figura 15. Familias del orden Passeriformes con especies de aves en alguna categoría de endemismo	42
Figura 16. Estacionalidad de las aves de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí.	43
Figura 17. Curva de acumulación histórica del número de especies de aves presentes en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí	44
Figura 18. Mapa de intervalos altitudinales en la Sierra Madre Oriental potosina con las localidades únicas de registros de aves	46
Figura 19. Número de registros de aves en relación a los intervalos altitudinales.....	47

Figura 20. Correspondencia de los intervalos altitudinales y la riqueza total de aves de la Sierra Madre Oriental potosina.....	47
Figura 21. Relación del número de especies endémicas a México (E), cuasi endémicas a México (Q), semi endémicas a México (S) y endémicas a la Sierra Madre Oriental (ES) y los intervalos altitudinales	48
Figura 22. Relación de la riqueza de aves residentes permanentes y migratorias con respecto a los intervalos altitudinales	48
Figura 23. Relación de la riqueza de aves en alguna categoría de riesgo con respecto a los intervalos altitudinales	49
Figura 24. Mapa de los tipos de vegetación en la Sierra Madre Oriental potosina con las localidades de colecta de registros de aves.	50
Figura 25. Número de registros y número de especies de aves por tipo de cobertura del terreno ..	51
Figura 26. Número de especies endémicas a México (E), cuasi endémicas a México (Q), semi endémicas (S) y endémicas a la Sierra Madre Oriental (ES) con respecto a los tipos de cobertura	51
Figura 27. Riqueza estacional de las aves de la Sierra Madre Oriental con base en los tipos de cobertura del terreno	53
Figura 28. Relación de la riqueza de aves en riesgo bajo las categorías de la NOM-059-SEMARNAT-2010, CITES y la IUCN con respecto a la vegetación y uso del suelo	53
Figura 29. Mapa de distribución potencial de la riqueza total de aves de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí.....	54
Figura 30. Mapa de distribución potencial de la riqueza de aves de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí bajo alguna categoría de riesgo	55
Figura 31. Mapa de distribución potencial de la avifauna de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí con alguna categoría de endemismo.....	57
Figura 32. Mapa de distribución potencial de la riqueza de aves residentes permanentes de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí.....	57
Figura 33. Mapa de distribución potencial de la riqueza de aves residentes totales de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí. Se incluyen la riqueza de aves migratorias con poblaciones residentes.....	58
Figura 34. Mapa de distribución potencial de la riqueza de aves migratorias de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí.....	58
Figura 35. Correspondencia del mapa de fragmentación del hábitat con respecto a las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS) y las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de la Sierra Madre Oriental potosina	60
Figura 36. Correspondencia del mapa de distribución potencial de la riqueza total de aves con respecto a las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS) y las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de la Sierra Madre Oriental potosina.....	61
Figura 37. Correspondencia del mapa de distribución potencial de la avifauna de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí con alguna categoría de endemismo con respecto a las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS) y las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de la Sierra Madre Oriental potosina	62

1. RESUMEN

Se presentan los patrones de distribución y composición de las aves de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí así como un análisis temporal de los cambios en el paisaje de la misma. Basados en el uso de la tecnología de los sistemas de información geográfica y la elaboración de modelos ecológicos de nicho de las especies, se generó información relevante acerca de la influencia de los procesos de fragmentación del hábitat en la composición y patrones de distribución espacial de la avifauna, así como la identificación de áreas de importancia avifaunística. Los resultados confirman la importancia de la región como un punto de alta diversidad de aves al acumular una riqueza de 356 especies de las cuales 70 especies son susceptibles a la fragmentación del hábitat. El análisis cuantitativo del espacio determinó que las coberturas de vegetación original tienden a la fragmentación mientras que las coberturas asociadas a las actividades humanas presentan tendencias a la conexión. Esta investigación contribuye sustancialmente al conocimiento ornitológico del estado de San Luis Potosí y se suma a las estrategias de conservación de la diversidad biológica en la región.

ABSTRACT

This study presents an analysis of distribution patterns and composition of the birds of the Sierra Madre Oriental from San Luis Potosi and temporal analysis of changes in the landscape itself. Based on use of technology in geographic information systems and the development of ecological niche models of species, generated relevant information about the influence of habitat fragmentation processes in the composition and spatial distribution patterns of avifauna, and the identification of important areas for birds. The results confirm the importance of the region, a high diversity of birds to accumulate a wealth of 356 species of which 70 species are susceptible to habitat fragmentation. The quantitative analysis found that the coverage area of original vegetation tend to fragmentation while the coverage of human activities associated with the trends for the connection. This research contributes substantially to ornithological knowledge of the state of San Luis Potosi and in addition to strategies for biodiversity conservation in the region.

2. INTRODUCCIÓN

El estudio de la diversidad biológica ha adquirido gran auge en los últimos años debido, en parte, a la acelerada transformación de los sistemas naturales y sus consecuencias sobre los recursos biológicos del planeta (Vitousek *et al.*, 1997; Chapin *et al.*, 2000).

En México, el uso indiscriminado de los recursos naturales, el desmesurado crecimiento de las poblaciones humanas y la ocupación de espacios para el desarrollo de actividades productivas han inducido un cambio en los paisajes del país provocando la existencia de paisajes heterogéneos o fragmentados que aíslan a las especies y dificultan el intercambio de individuos entre los parches de vegetación, afectando a las poblaciones y contribuyendo a la pérdida de diversidad biológica en los ecosistemas (Turner *et al.*, 2001; SEMARNAT, 2008). La fragmentación del hábitat, en este sentido, se puede definir como la pérdida de la continuidad de un ecosistema, lo que provoca una reducción en su área y la formación de parches de hábitat natural remanente, pequeños y aislados que tienen efectos sobre la biodiversidad, generalmente con efectos negativos a diferentes escalas y que están asociados a cambios progresivos en la configuración del paisaje (Meffe y Carroll, 1994; Begon *et al.*, 2006; Santos y Tellería, 2006).

La ocupación de los hábitats fragmentados depende en gran medida de la historia de vida de las especies y de su capacidad para desplazarse (Pisanty-Baruch, 2003). Por ejemplo, existen grupos biológicos como las aves que pueden ser indicadores del estado de conservación que guardan los hábitats y su estudio puede posibilitar estrategias destinadas a la conservación biológica (Navarro-Sigüenza, 1994). Sin embargo, a pesar de que el estudio de la avifauna mexicana se ha incrementado en los últimos años, aún surge la necesidad de continuar con estudios a un nivel regional que proporcione una información más precisa sobre la diversidad de las aves (Navarro, 1989).

El estado de San Luis Potosí es reconocido como la entidad con mayor riqueza de aves en la región de la Sierra Madre Oriental (Navarro *et al.*, 2004) y, aunque es una región en la que se han realizado algunos estudios avifaunísticos (*e. g.*, Sutton y Burleigh, 1940a

1940b; Davis y Johnson, 1947; Lowery y Newman, 1949, 1951; Easterla, 1964; Jackson, 1990; Navarro *et al.*, 2004; Gutiérrez-Rubio, 2008) éstos aún son insuficientes.

Estudios recientes (BirdLife International, 2003; Ortega-Huerta y Peterson, 2004; Vargas-Canales, 2006), han reconocido a la Sierra Madre Oriental potosina como un punto importante para la conservación de la avifauna y de la diversidad biológica, en general. A pesar de lo anterior, la información biogeográfica de las aves y otros taxones es aún escasa y se suma a la falta de conocimiento sobre el estado de las comunidades de aves en la región, los patrones de riqueza y endemismo asociados a problemas ambientales, como los procesos de fragmentación del hábitat. Asimismo, la distribución histórica o reciente de las especies no se ha analizado a profundidad (Navarro *et al.*, 2004; Gutiérrez-Rubio, 2008). Por otro lado, aún hay huecos en la representatividad del sistema de reservas o áreas importantes para la conservación de las aves, así como de estudios, políticas y estrategias adecuadas para su implementación en la región (Ortega-Huerta y Peterson, 2004; Vargas-Canales, 2006).

Por lo anterior, se busco compilar y actualizar la información referente a las aves de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí y conocer los cambios en el paisaje de la misma. Basados en el uso de sistemas de información geográfica y la elaboración de modelos de distribución potencial de las especies, se generó nueva información acerca de los posibles efectos de los procesos de fragmentación del hábitat en la composición y distribución espacial de la avifauna. Finalmente con los resultados obtenidos se ubicaron áreas que podrían ser consideradas como prioritarias para la conservación de las aves, las cuales pueden ser útiles para la implementación posterior de estrategias de conservación en la región.

3. ANTECEDENTES

3.1. Proceso de fragmentación del hábitat

La ecología del paisaje es la disciplina de la ecología que estudia la dinámica de los patrones del paisaje y sus efectos sobre los procesos ecológicos (Pickett y Cadenasso, 1995; Turner *et al.*, 2001). El paisaje, definido como un área con características heterogéneas, se describe como un mosaico de parches o fragmentos de hábitat que se interconectan en una matriz continua y dominante que al mismo tiempo alberga a otros parches con atributos bióticos y abióticos propios (Pickett y Cadenasso, 1995). Dependiendo de la configuración espacial de los parches, el paisaje puede clasificarse como continuo o fragmentado, donde el paisaje fragmentado representa el punto final del proceso de fragmentación, es decir, el resultado de las fases sucesivas mediante las cuales se pierde la continuidad de la superficie de un hábitat y se forman fragmentos o parches que tienden a disminuir de tamaño y aumentar la distancia entre ellos (Turner *et al.*, 2001; Fahrig, 2003).

Durante el proceso de fragmentación los efectos de los cambios en la configuración del paisaje están presentes y se manifiestan en diferentes escalas como, por ejemplo, en la modificación de los flujos de energía, los procesos bioquímicos y propiedades demográficas de las poblaciones entre los fragmentos próximos; bajo un enfoque geográfico y paisajístico, los efectos se correlacionan con la dinámica de las cubiertas del suelo y los cambios espaciales-temporales de las variables que caracterizan a los fragmentos como el tamaño, la conectividad, el aislamiento, el perímetro (borde) y la densidad de los fragmentos en el área total, entre otros (Turner *et al.*, 2001; Rutledge, 2003; Santos y Tellería, 2006).

El proceso de fragmentación junto con la pérdida del hábitat es considerado una de las principales amenazas para la diversidad biológica (Vitousek *et al.*, 1997; Dirzo y Raven, 2003; Fahrig, 2003), ya que se presenta 1) una pérdida regional en la *cantidad de hábitat*, 2) un aumento en la *distancia entre fragmentos*, que propicia la dificultad para el intercambio y desplazamiento de los individuos entre las poblaciones aisladas, 3) una disminución del *tamaño medio* y un aumento del *número de los fragmentos de hábitat* resultantes, cuya tendencia reduce progresivamente el tamaño de las poblaciones mantenidas por cada uno de

los fragmentos, aumentando así el riesgo de que alcancen un umbral por debajo del cual son inviables y, finalmente, 4) un creciente *efecto de borde* que origina un deterioro de la calidad del hábitat, afectando a la supervivencia de las poblaciones establecidas en los fragmentos ya que se presenta mayor exposición a la radiación y luz solar, al viento y al aumento de temperatura asociada a la disminución de la humedad (Saunders *et al.*, 1991; Santos y Tellería, 2006).

En México, la dinámica temporal de la fragmentación del hábitat ha sido poco estudiada. Sobresalen algunos estudios multitemporales de la fragmentación y sus implicaciones en la estructura de las comunidades de plantas (*e.g.*, Mas y Correa-Sandoval, 2000; Ochoa-Gaona y González-Espinosa, 2000; Ochoa-Gaona *et al.*, 2004; Chapa-Bezanilla *et al.*, 2008; Montoya-Reséndiz, 2008). En estos estudios se ha determinado que el proceso de fragmentación influye de manera importante en la degradación de la estructura y composición florística de los bosques.

También, existen estudios que evalúan la diversidad de grupos biológicos en función de la estructura de las zonas fragmentadas. En este aspecto, destacan estudios avifaunísticos en los que se correlaciona la fragmentación del hábitat con atributos biológicos de las aves como la anidación, depredación, conducta, dispersión de semillas, dietas, éxito reproductivo, diversidad, estructura genética y poblacional en grupos particulares (Mellink, 1991; Estrada, *et al.*, 1997; Watson y Peterson, 1999; Estrada *et al.*, 2002; Zizumbo-Alamilla, 2005; Arriaga-Weiss *et al.*, 2008) dejando de lado el conocimiento de los posibles efectos de los procesos de fragmentación en la distribución espacial de la avifauna.

En el caso de las aves, está documentado que la permanencia en los fragmentos (parches) a largo plazo depende, en parte, de la conectividad entre los parches, por ejemplo, si los fragmentos de hábitat son muy reducidos y aislados entre sí, la posibilidad de extinciones locales aumenta, mientras que las oportunidades de desplazarse a nuevos espacios se reduce (Newton, 1998). Sin embargo, la fragmentación del hábitat no siempre está asociada a los efectos negativos, sino que en algunos casos puede tener efectos positivos como, por ejemplo, el éxito reproductivo de algunas aves cuando en los parches hay suficiente disponibilidad de alimentos o de la presencia de menos depredadores o

parasitismo, por lo que, se brinda un medio favorable para la anidación y la sobrevivencia (Robinson *et al.*, 1995; Lamprila *et al.*, 2005; Zizumbo-Alamilla, 2005).

En el presente estudio se planteó vislumbrar los recientes procesos de fragmentación del hábitat en la Sierra Madre Oriental potosina a través del uso de los sistemas de información geográfica (SIG) que permiten, entre otras cosas, conocer y analizar la evolución del paisaje, así como generar hipótesis sobre los efectos de la fragmentación en la diversidad biológica (Turner *et al.*, 1990; McGarigal y Marks, 1994) que, para los fines de esta investigación, se correlacionó con respecto a la información de la distribución de la avifauna.

3.2. Conocimiento avifaunístico

Algunos autores (*e.g.*, Koleff y Moreno, 2005; SEMARNAT, 2008) consideran a México como el segundo país con mayor diversidad de ecosistemas y el tercero en riqueza de especies (Mittermeier y Goettsch de Mittermeier, 1992; Carabias *et al.*, 1994), albergando a más del 12% de la biota total del mundo (Toledo y Ordóñez, 1998). En cuanto a diversidad avifaunística se refiere, a nivel mundial, México ocupa la decimosegunda posición en riqueza de aves con aproximadamente 1282 especies (10% del total mundial; Navarro-Sigüenza y Peterson, 2004), de las cuales aproximadamente el 10% son consideradas endémicas (Howell y Webb, 1995; AOU, 1998; Navarro-Sigüenza y Peterson, 2004).

En este sentido, la Sierra Madre Oriental (SMO) es considerada como una de las regiones del país que alberga una gran diversidad biológica (véase Luna *et al.*, 2004). Por ejemplo, la avifauna tiene representada cerca de 532 especies en la región, esto es aproximadamente el 41.5 % del total nacional (Navarro *et al.*, 2004).

A diferencia de algunos estados del país en los que se han realizado estudios detallados sobre su avifauna, el conocimiento ornitológico tanto del estado de San Luis Potosí como en la región SMO no ha sido continuo a través del tiempo, ya que se han enfocado principalmente hacia el estudio de censos, hábitos reproductivos de ciertas especies, monitoreo de aves migratorias, registros y listas aisladas, así como revisiones taxonómicas y

de la ampliación de distribución de algunas poblaciones y, más recientemente, sobre el aprovechamiento sustentable de algunas aves (Nelson, 1899; Sutton y Burleigh, 1940a 1940b; Davis y Johnson, 1947; Lowery y Newman, 1949, 1951; Davis, 1952; Sutton, 1955; Easterla, 1964; Jackson, 1990; Mellink, 1991; Gómez de Silva, 2003; Gutiérrez-Rubio, 2008).

En los últimos años, ante el interés de reunir toda la información referente a la avifauna de San Luis Potosí y de la SMO, así como conocer los patrones de distribución de las especies, se han generado trabajos como el estudio realizado por Navarro y colaboradores (2004) el cual reúne toda la información de la avifauna de la SMO albergada en las colecciones científicas de México y el extranjero (Atlas de las aves de México; Navarro-Sigüenza *et. al.*, 2003), en la literatura y trabajo de campo realizado en los últimos veinte años.

Ortega-Huerta y Peterson (2004) realizaron un estudio sobre las relaciones de los patrones espaciales de la riqueza de aves y mamíferos del noreste del país con respecto a áreas identificadas como aptas para la conservación. En dicho trabajo se identificó la zona de San Nicolás de los Montes, en el municipio de Tamasopo, San Luis Potosí, como un sitio de alta riqueza. Ésta zona, que se localiza dentro de los límites de la Sierra Madre Oriental potosina, es considerada como un Área de Interés para la Conservación de las Aves (AICAS; Arizmendi y Márquez, 2000). Sin embargo, a pesar de esa relevancia, no posee protección oficial y aún se carece de estudios que puedan ser útiles en la toma de decisiones referentes a la conservación biológica.

De manera similar, Vargas-Canales (2006) llevó a cabo un estudio de modelado de los patrones de riqueza y endemismo de la avifauna del estado de San Luis Potosí. En este estudio se determinó que la Sierra Madre Oriental potosina contiene aproximadamente 343 especies de aves e incluye a la mayor riqueza de aves residentes, endémicas y bajo alguna categoría de riesgo en el estado.

Actualmente, grupos de trabajo interesados en el conocimiento de la avifauna nacional llevan a cabo trabajos monográficos como el proyecto de las Avifaunas Estatales de México (*e.g.*, Palomera-García *et al.*, 2007; Garza de León *et al.*, 2007;

<http://www.huitzil.net/aeindice.htm>) y sobresale la revisión histórica de los trabajos ornitológicos llevados a cabo en San Luis Potosí durante los últimos 130 años, el cual contiene información vinculada a la distribución de la riqueza y el estado actual de conservación de la avifauna, además de la representatividad de ésta en los sistemas de reserva del estado (Sánchez-González y García-Trejo, 2010). En este trabajo ornitológico también sobresale la Sierra Madre Oriental como un espacio de elevada riqueza de aves pero al mismo tiempo como una región vulnerable que, aunque parezca discordante, aún presenta oportunidades para realizar acciones de conservación.

Por todo esto, en la presente investigación se reunió información avifaunística de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí con el objeto de conocer los patrones de distribución espacial y potencial de la avifauna, cuya información generada se vinculó con la información de los cambios en el paisaje de la zona de estudio.

3.3. Modelos de nicho ecológico

La distribución geográfica de una especie ha sido definida como el conjunto de localidades donde ésta ha sido registrada, ya sea mediante la recolecta de especímenes o la observación (Espinosa-Organista *et al.*, 2001). A veces, la información de las localidades individuales y registros de las especies es incompleta o fragmentaria (Rojas-Soto *et al.*, 2002), por lo que es frecuente que la interpretación del área de distribución geográfica no sea la adecuada y lleve a inferencias erróneas sobre la ocurrencia real de las especies (Graham y Hijmans, 2006)

Ante estas limitantes, el modelado ecológico del nicho proporciona un método confiable para representar y generar estimaciones del área de distribución potencial de las especies (Anderson *et al.*, 2002; Hernández *et al.*, 2006). Los modelos ecológicos de nicho toman como base teórica y metodológica la información biológica y geográfica de los individuos de una especie en el campo y las variables ambientales como predictores para generar hipótesis acerca de los sitios con las condiciones ecológicas necesarias para la presencia de las especies (Pearson *et al.*, 2007; Ortega-Huerta y Peterson 2008)

La aplicación de modelos ecológicos de nicho a la conservación biológica ha adquirido mucho auge en los últimos años gracias al desarrollo de técnicas informáticas. Existen varios modelos que predicen cuáles son los hábitats idóneos en los que una especie puede ocurrir con base en las variables ambientales del entorno original (Anderson *et al.*, 2003). Estas herramientas informáticas se basan en datos reales de presencia y/o ausencia de las especies y, mediante algoritmos matemáticos, generan predicciones de las distribuciones geográficas de nicho (Benito de Pando y Peñas de Giles, 2007; Ortega-Huerta y Peterson, 2008).

Los modelos ecológicos de nicho tienen como base teórica el concepto de nicho ecológico el cual, de acuerdo con Hutchinson (1957) se define como un espacio multidimensional (n-dimensiones) de condiciones bióticas y abióticas que permiten o no la sobrevivencia de los organismos sin necesidad de que estos se desplacen. Hutchinson (1957) hace la distinción entre nicho fundamental y nicho realizado (efectivo); el nicho fundamental es definido como aquel espacio geográfico con las condiciones ambientales apropiadas en donde la especie puede vivir a largo plazo, mientras que el nicho realizado se refiere a un subconjunto del nicho fundamental que representa un espacio ecológico y geográfico en donde la especie, en efecto, está presente. (Soberón y Peterson, 2005; Soberón, 2007).

Aunque existe controversia en las interpretaciones de los resultados de los modelos ecológicos de nicho (*e.g.*, Elith *et al.*, 2006; Peterson *et al.*, 2007; Phillips, 2008; Peterson *et al.*, 2008), los resultados representan una aproximación al nicho ecológico fundamental (Soberón y Peterson, 2005; Soberón, 2007) y en la medida en la que el modelo describe con precisión al nicho fundamental de la especie, la proyección del modelo en el espacio geográfico representa a la distribución potencial de la especie (Phillips *et al.*, 2006).

Actualmente el uso de modelos ecológicos de nicho ha sido importante para analizar una gran variedad de áreas del conocimiento, como la distribución geográfica, escenarios de distribución potencial ante el cambio climático, invasión de especies, daños de plagas a la agricultura, análisis de la diversidad biológica y de salud pública, entre otros (Peterson, *et al.*, 2002; Illoldi-Rangel *et al.*, 2004; Sánchez-Cordero *et al.*, 2005; Elith *et al.*, 2006; Ortega-Huerta y Peterson, 2008).

En este estudio se utilizó un método de inteligencia artificial denominado Maxent (Phillips *et al.*, 2004; Phillips *et al.*, 2006) que se basa en una distribución de máxima entropía (distribución uniforme). Este método, como modelo ecológico de nicho, describe la disponibilidad del hábitat y lo proyecta en un espacio geográfico en el cual se obtiene la distribución geográfica más probable para una especie a partir de información incompleta (Suárez-Seoane *et al.*, 2008). El método de Maxent no requiere de datos de ausencia para generar las hipótesis de distribución y además tiene las ventajas de usar variables continuas y categóricas, puede incorporar interacciones entre las variables, es repetible, rápido y se ajusta a los datos (Phillips *et al.*, 2006; Elith *et al.*, 2006; Suárez-Seoane *et al.*, 2008; Ortega-Huerta y Peterson, 2008; Phillips y Dudík, 2008).

En el estado de San Luis Potosí se cuenta con estudios locales en los que ya se ha utilizado el método de Maxent como modelo predictivo, como el trabajo de Villordo-Galván (2009) quien llevó a cabo un estudio de distribución potencial y conservación del jaguar (*Panthera onca*) en San Luis Potosí. También destaca el estudio de Jasso-Gordoa (2008) quien analizó la distribución potencial de la avifauna del Altiplano potosino. En ambos estudios se evaluó el estado actual de conservación de estos grupos biológicos y, a partir de los modelos de nicho ecológico, se identificaron las áreas prioritarias para la conservación de estos vertebrados terrestres, con la finalidad de sumarse a las estrategias de conservación de los recursos del estado, mismas que persigue la presente investigación.

4. AREA DE ESTUDIO: SIERRA MADRE ORIENTAL POTOSINA

4.1. Regionalización

La Sierra Madre Oriental (SMO) se reconoce y clasifica como una región. Existen varios criterios que la definen como un área con características únicas, como el relieve, la vegetación, la fauna, el clima, suelos, entre otras (Morrone *et al.*, 2002; Ruíz-Jiménez *et al.* 2004). A lo largo del tiempo se han producido varios sistemas de regionalización, todos ellos con distintos límites de las unidades de cada uno de los sistemas propuestos. Ruíz-Jiménez y colaboradores (2004) sugirieron dos grupos para la SMO: regionalización biótica y regionalización física.

La regionalización biótica está basada en rasgos biológicos, como los patrones de distribución de plantas (Rzedowski, 1978), aves (Escalante *et al.* 1993), mamíferos (Ramírez-Pulido y Castro-Campillo, 1990), anfibios y reptiles (Casas-Adreu y Reyna-Trujillo, 1990; Flores-Villela, 1991) o el de Provincias Biogeográficas de México (CONABIO, 1997), que es un sistema de regionalización basado en la conjunción de algunos de los sistemas antes mencionados con el sistema de rasgos morfotectónicos (Ferrusquía-Villafranca, 1990).

La regionalización física se refiere a los aspectos fisiográficos y geológicos. En algunas ocasiones se asocian a los tipos de vegetación, climas y edafología. Destacan las provincias bióticas o rasgos morfotectónicos (Ferrusquía-Villafranca, 1990), el sistema geológico (De Cserna, 1989), el sistema fisiográfico (Cervantes-Zamora *et al.*, 1990) y el sistema de clasificación de Ecorregiones de México (CONABIO, 1999; INEGI, *et al.*, 2008), que se basa en atributos topográficos y tipos de vegetación.

Generalmente los estudios biológicos se restringen a límites político-estatales, esto puede parecer incomprensible pues los límites políticos rara vez coinciden con la distribución de las especies o taxa supraespecíficos. No obstante, la utilización de límites políticos suelen ser útiles en el desarrollo de planes de manejo y líneas de investigación dentro del área delimitada, lo que en algunos casos permite generar programas y políticas de conservación más estables (Sahagún-Sánchez, 2003). Por esta razón, la delimitación del área de estudio se basó en la regionalización fisiográfica del proyecto SEMARNAT-2006-C01-23754

denominado “Los procesos de deforestación en la región de la Huasteca potosina, sus implicaciones ante el cambio climático y escenarios futuros” (Fig. 1).

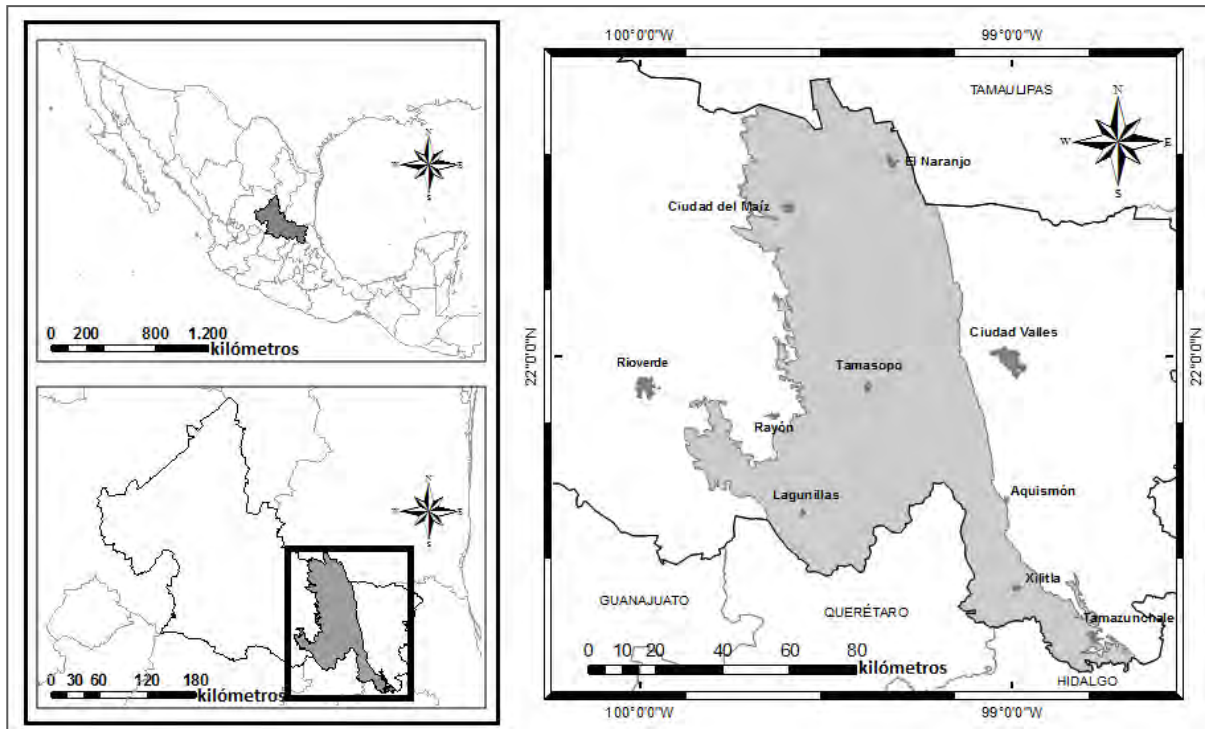


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio: Sierra Madre Oriental potosina.

4.2. Geología y Fisiografía

La SMO es fundamentalmente un conjunto de sierras menores de estratos plegados de antiguas rocas sedimentarias marinas del Cretácico y del Jurásico Superior (65 a 156 millones de años), entre las que predominan las calizas, las areniscas y las lutitas (rocas arcillosas). El plegamiento se muestra de diversas maneras pero su aspecto más notorio en estas tierras es el que produce una topografía de fuertes ondulados paralelos alargados, semejante a la superficie de una lámina corrugada (INEGI, 2002).

De acuerdo con la *Síntesis de la Información Geográfica del estado de San Luis Potosí* (INEGI, 2002) la altitud de la región va de los 150 m en el sur del estado hasta los 2700 m en las partes altas de Xilitla, San Luis Potosí. La región fisiográfica Sierra Madre

Oriental potosina comprende 57.08 % de la superficie total del estado, por medio de fracciones pertenecientes a las subregiones Sierras y Llanuras Occidentales, Karts Huasteco y Gran Sierra Plegada (Fig. 2).

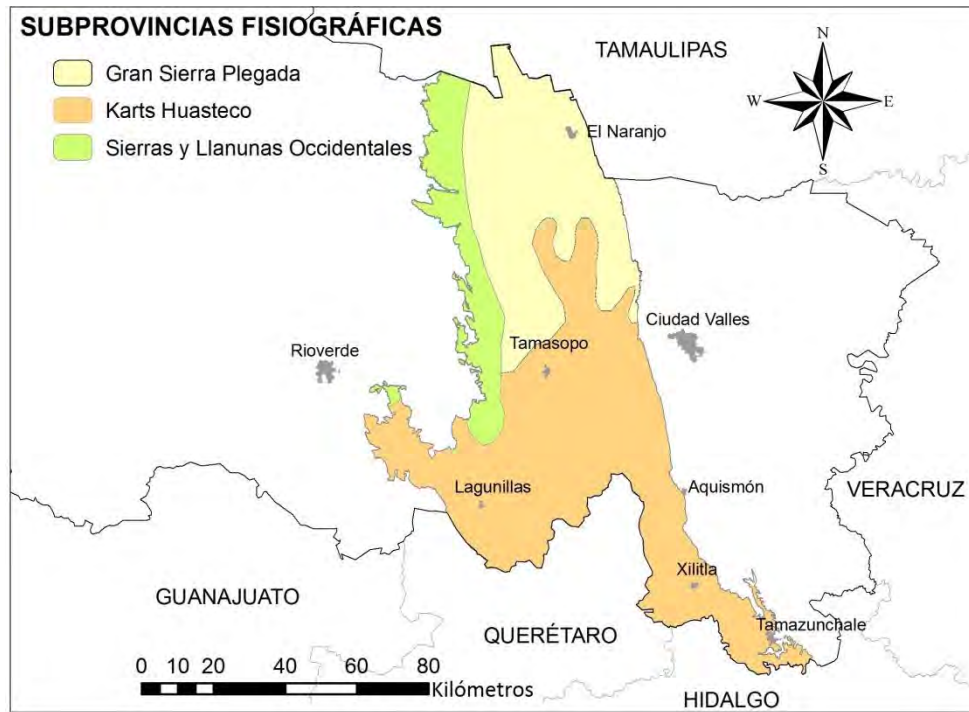


Figura 2. Subprovincias Fisiográficas de la Sierra Madre Oriental potosina. Tomado y modificado de Cervantes-Zamora *et al.* (1990).

4.3. Hidrografía y Clima

La complejidad topográfica y geomorfológica de la SMO hace que los vientos húmedos originados en el Golfo de México se mantengan en la cara este de la región, por lo tanto, el papel orográfico de la sierra permite distinguir dos zonas hidrográficas bien diferenciadas en el estado de San Luis Potosí: zona suroriental y zona occidental (INEGI, 2002).

En la zona suroriental, se suscitan abundantes precipitaciones que contribuyen al cauce de ríos importantes como Santa María, Moctezuma y Tambaón. Los climas cálido y semicálido húmedos y subhúmedos de la zona de la huasteca, promueven que en la cara este (barlovento) de la sierra exista una mayor precipitación e intensa infiltración de agua en el subsuelo y la formación de extensos sistemas de cavernas, cascadas y manantiales. De manera inversa, la zona occidental (sotavento) de la SMO, donde el clima es seco y semiseco, se forman corrientes de agua intermitente, por lo regular en la temporada de lluvias y su curso es reducido, ya que generalmente desaparecen en las llanuras, debido a la filtración y la evaporación.

Los tipos de clima que predominan en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí son: secos, semisecos, semicálidos y cálidos.

Los climas cálidos (A) interrumpen en el tramo comprendido entre Ciudad Valles, Aquismón y en parte del Río Verde, San Luis Potosí. Se caracterizan por tener temperaturas entre 22 °C y 26 °C. La precipitación total anual está entre 700 y 2500 mm (Fig. 3).

Los climas semicálidos (A)C ocurren aproximadamente en la mitad oriental de la Sierra Madre Oriental del estado, en áreas aledañas a Aquismón, Xilitla, El Naranjo, Rascón, Tamasopo, Huehuetlán y Tamanzuchale. Las temperaturas varían entre 18°C y 22°C, con temperaturas medias en el mes más frío entre 3°C y 18°C y precipitación total anual que va desde los 600 hasta los 3500 mm (INEGI, 2002).

Los climas secos (BS) y semisecos (BS₁) tienen en común la característica de que la evaporación excede a la precipitación y predominan en la SMO (Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya, 2004). Dada las variaciones altitudinales y la posición geográfica de la SMO, los climas secos y semisecos se distribuyen principalmente en la zona de sotavento (occidente) de la sierra. En el territorio potosino, los climas semisecos se distribuyen en los alrededores de Rayón, Cárdenas, Alaquines y Ciudad del Maíz. Las temperaturas pueden variar, sin embargo es posible que se registren temperaturas por debajo de los 12°C y superiores a los 30°C, siendo estos últimos los más comunes.

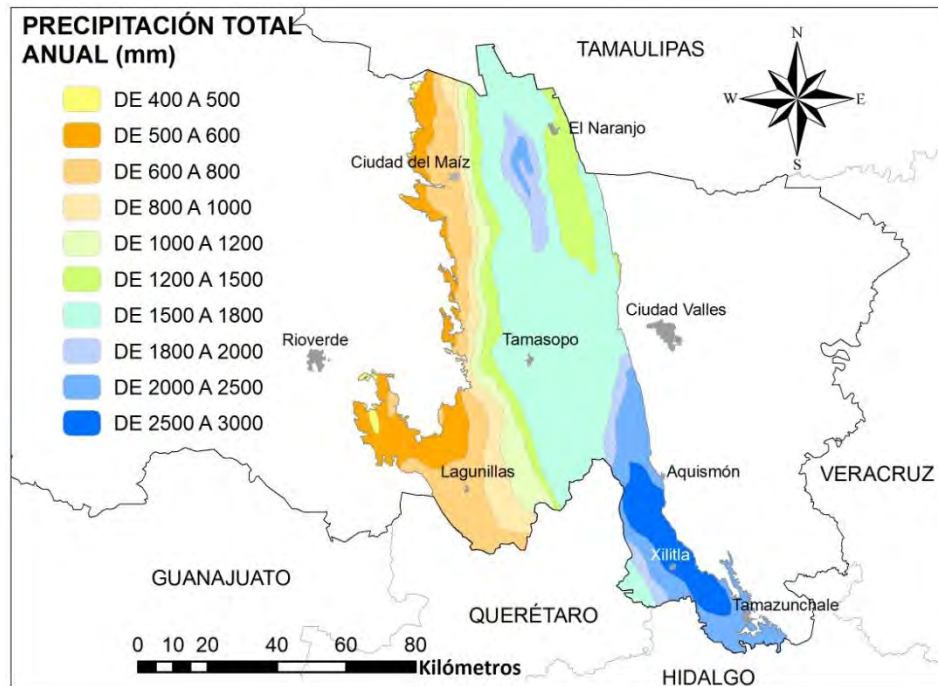


Figura 3. Precipitación total anual en la Sierra Madre Oriental potosina. Tomado y modificado de García, E. - CONABIO (1998).

4.4. Vegetación

Las diferencias altitudinales y de humedad en la SMO, hacen posible que en esta región estén representadas casi todos los tipos de vegetación que se conocen en el país. De acuerdo con Rzedowski (1978) y la *Síntesis de Información Geográfica del estado de San Luis Potosí* (INEGI, 2002) en la SMO potosina se pueden encontrar los siguientes tipos de vegetación (Fig. 4):

Bosque Mesófilo de Montaña (BMM): es un bosque denso, por lo general de 15 a 35 m de alto, hasta más de 60 m. Con frecuencia la comunidad incluye árboles perennifolios y de hoja decidua con un sotobosque muy desarrollado y la presencia de epífitas. Es un tipo de vegetación que se desarrolla en las laderas de las montañas, donde se forman neblinas y prevalece una alta humedad atmosférica durante todo el año. La temperatura oscila entre los 12°C a 23°C y la precipitación oscila entre 1500 y 3000 mm. En la SMO potosina los BMM se localizan en altitudes que van de los 1100 a los 1850 m en la porción poniente y noroeste

de Xilitla y al oriente y sureste de Ciudad del Maíz. Los suelos son someros o profundos, con abundante materia orgánica y húmeda durante todo el año.

Matorral Xerófilo (MX): es una cobertura vegetal característica de las zonas áridas y semiáridas. En San Luis Potosí se extiende en la porción central del estado, en sierras y lomeríos de la SMO. Incluye comunidades en las que predominan arbustos altos o árboles bajos de 3 a 5 metros de altura. La temperatura es de los 12°C a 26°C. En la SMO de San Luis Potosí aparecen otros tipos de vegetación entre las que destacan el *Matorral Desértico Rosetófilo* con predominio de agaváceas y se localizan principalmente en las inmediaciones de Rioverde hasta el norte del estado. El *Matorral Submontano* es una comunidad arbustiva, a veces muy densa que se desarrollan en laderas y en las sierras, es una transición entre los matorrales xerófilos y las comunidades templadas. Se localiza en las partes bajas de las sierras del centro del estado en altitudes que van de los 800 a los 1700 m.

Bosque de Encino (BE): está constituido principalmente por especies arbóreas de *Quercus*. La altura de los árboles varía entre 2 y 30 m, alcanzando hasta 50 m. En la SMO potosina, la temperatura en los BE varía entre los 18°C y 24°C y el 95% de los encinares se encuentran entre los 1200 y 2700 msnm. Existen comunidades de BE asociados y mezclados a elementos de Pino, dependiendo de la dominancia de estos se pueden identificar bosques de Encino-Pino o bosques de Pino-Encino. En los bosques de Encino-Pino abunda el encino y en la SMO se distribuye específicamente en el oeste de Xilitla; el bosque de este tipo se presenta en climas semisecos templados, con temperatura media anual de 12°C a 18°C. En el bosque de Pino-Encino, en donde predomina el pino, es común en la sierra del Camarón y está presente en climas templados subhúmedos, con temperatura anual entre los 12°C a 18°C.

Bosque Tropical Perennifolio o Selva Alta Perennifolia (SAP): predominan árboles altos de más de 25 m hasta 60 m, que se ramifican en el último tercio, con abundantes bejucos y plantas epífitas formando una vegetación muy densa. La mayoría de los árboles (más del 75%) permanecen verdes todo el año, aunque algunos individuos tiran el follaje durante la floración. La vegetación está asociada a suelos ricos en materia orgánica y crece en las partes más húmedas de la SMO, desde las inmediaciones de Xilitla hasta Tamanzuchale, entre los 200 a 800 metros sobre el nivel del mar.

Bosque Tropical Subcaducifolio o Selva Mediana Perennifolia (SMP): esta vegetación se caracteriza por la presencia de árboles dominantes de 15 a 40 metros de altura, los cuales del 25 al 50% de los árboles pierden sus hojas en la época seca. Se distribuye en la vertiente este de la SMO, en las inmediaciones de Tamasopo y en las cercanías de Aquismón en altitudes que parten de los 350 metros y en suelos a menudo arcillosos. La temperatura en este tipo de vegetación oscila entre los 18°C y los 26°C.

Bosque Tropical Caducifolio o Selva Baja Caducifolia (SBC): sobresalen árboles de 15 metros de altura o menos, aunque predominan los árboles de 2 a 8 metros de altura. Entre el 25 y el 50% de los árboles pierden las hojas en la época de secas. En las zonas más secas son comunes las cactáceas columnares, candelabriformes y rosetófilos. Generalmente se encuentra en lomeríos y laderas con suelos someros y pedregosos, o en suelos profundos con drenaje deficiente. El BTC se distribuye al sureste del estado, en las laderas orientales de la SMO potosina, desde la zona de El Naranjo y noroeste de Ciudad Valles, a 100 metros de altitud. La temperatura media anual oscila entre los 18°C y 26°C.



Figura 4. Vegetación Potencial de la Sierra Madre Oriental potosina. Tomado y modificado de Rzedowski (1990).

4.5. Áreas de importancia para la conservación biológica.

De acuerdo con algunos autores, (CONANP, 2003; Koleff y Moreno, 2005) de los 45,231.92 km² de superficie total de la SMO, solamente 4,818.31 km² (10.65%) están destinados a la conservación biológica, asimismo ésta superficie no se distribuye equitativamente entre los estados que la abarcan, tal como sucede en la porción de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí, la cual recientemente se ha considerado como un área de importancia biológica para la conservación de las aves y de la diversidad biológica, en general (Arizmendi y Márquez, 2000; Ortega-Huerta y Peterson, 2004).

Actualmente, en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí solamente se encuentran bajo protección federal aquellas aves que se distribuyen dentro de las áreas naturales protegidas (ANP) de La Porción Boscosa de San Luis Potosí (en los límites de la Reserva de la Biósfera de Sierra Gorda, Querétaro) y en la reserva de la Biósfera del Abrá-Tanchipa. Por otra parte, también hay ANP del gobierno estatal circundantes a la SMO como los Monumentos Naturales “Sótano de las Golondrinas”, “La Hoya de las Huahuas” y “Cuevas de Mantetzulel” en el municipio de Aquismón, el Parque Estatal “Bosque Adolfo Roque Bautista” en Tamuín, y el Sitio Sagrado Natural “Cuevas del Viento y de la Felicidad”, en Huehuetlán. La representatividad de estas áreas bajo la autoridad estatal y federal no son lo suficientemente grandes para cubrir las necesidades de las aves residentes y migratorias que habitan la región, pues las ANP se encuentran en los extremos norte y sur de la Sierra Madre Oriental potosina, dejando grandes extensiones en el centro sin ningún tipo de protección a las especies que se encuentran bajo alguna categoría de riesgo (Navarro *et al.*, 2004).

5. OBJETIVOS

5.1. General

- Conocer los procesos de fragmentación del hábitat en la región de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí y evaluar sus posibles efectos en los patrones de distribución espacial de las aves.

5.2. Particulares

- Conocer los procesos de fragmentación del hábitat en la Sierra Madre Oriental potosina.
- Determinar los patrones de distribución espacial y potencial de la riqueza total, endemismo y estacionalidad de las aves de la Sierra Madre Oriental potosina.
- Identificar las áreas de importancia para la conservación de las aves dentro de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí considerando los procesos de fragmentación del hábitat y los modelos de distribución potencial.

6. MÉTODOS

6.1. Análisis de la fragmentación del hábitat en la Sierra Madre Oriental potosina

Para conocer los recientes procesos de fragmentación del hábitat en la Sierra Madre Oriental potosina se generó información multitemporal de cambios de la vegetación y uso del suelo a partir de la información generada de la interpretación de imágenes satelitales Landsat de 1989, 2000 y 2005 (proyecto SEMARNAT-2006-C01-23754) mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG). En el presente estudio, las coberturas resultantes y utilizadas para las distintas fechas fueron las siguientes: agricultura de temporal, agricultura de riego, bosques, cuerpos de agua, matorrales, pastizales, selvas, vegetación acuática, vegetación secundaria y zonas urbanas.

Posteriormente, en el SIG ArcGis 9.3 (ESRI, 2008) y la extensión Patch Analyst 4.2.10 (Rempel *et al.*, 2008) se calcularon 5 métricas del paisaje para cada una de las categorías antes mencionadas: la superficie del fragmento (SUPF), el número de fragmentos (NUMF), el tamaño medio de los fragmentos (TMF), el borde total (BORT) y la conectividad de los fragmentos mediante el cálculo de la distancia media del vecino más cercano (MNN).

De acuerdo con McGarigal y Marks (1994) y Elkie *et al.* (1999), la *superficie de los fragmentos* está dada por la suma de las áreas de todos los parches de cada clase (cobertura) en el paisaje; el *número de fragmentos* es igual al número total de parches de cada clase que conforma el paisaje; el *tamaño medio de los fragmentos* es igual al promedio del área de los parches de cada clase del paisaje; el *borde total* o *perímetro total* es igual a la suma del perímetro de cada parche de la misma clase que compone el paisaje; la *conectividad de los fragmentos* se define como la distancia del vecino más cercano de un parche con respecto a otro de la misma clase. Para determinar los valores de las métricas, se homogenizaron las unidades de medición de las superficies y bordes en hectáreas y kilómetros, respectivamente.

Por otro lado, en el caso del análisis de la conectividad de los fragmentos se calculó una métrica denominada distancia media del vecino más cercano (MNN) la cual es una medida del grado de aislamiento y de fragmentación de los parches del mismo tipo, y es igual a la suma de las distancias de los vecinos más cercanos de los parches del mismo tipo, basada

en la distancia más corta de borde a borde, dividido entre el número de parches de la misma categoría. Según Elkie *et al.* (1999), los valores de MNN fluctúan del 0 al infinito, siendo los valores con tendencia a 0 indicadores de mayor conectividad y menor fragmentación entre los parches de las coberturas, mientras que valores con tendencia al infinito son indicadores de mayor fragmentación y aislamiento.

Todas las imágenes fueron operadas en formato vectorial (polígonos) y sólo el cálculo de la conectividad de los fragmentos fue manipulado en formato raster (cuadrículas o celdas) debido a que el cálculo de la MNN únicamente está disponible en este formato en las extensiones del SIG. Por lo tanto, para este caso en particular se hizo la transformación de las coberturas del formato vectorial al formato raster en cuadrículas con tamaño de pixel de 50 metros de resolución. De acuerdo con McGarigal y Marks (1994) y Elkie *et al.* (1999), las diferencias de resultados entre polígonos y cuadrículas son relativamente pequeñas si el tamaño de los pixeles es igual o menor a los 50 metros de resolución.

A partir de estos cálculos, se hicieron las comparaciones temporales de la fragmentación del hábitat en la Sierra Madre Oriental potosina a nivel de cada cobertura mediante la elaboración de tablas comparativas referentes al cambio temporal de las métricas. Los valores negativos describen las coberturas que pierden y los valores positivos las que ganan superficie, perímetro o distancias. De manera adicional, se calculó la tasa de cambio promedio anual entre los años evaluados para cada una de las clases consideradas; el cálculo de la tasa de cambio promedio anual permite evaluar la magnitud de cambio (de manera porcentual) en las coberturas de suelo y describe el cambio ocurrido en un determinado periodo (Velázquez *et al.* 2002). La tasa de cambio promedio anual en el periodo de 1989 a 2005 se obtuvo mediante la siguiente función matemática (FAO, 1996):

$$\delta_{in} = [(S_{i2}/S_{i1})^{1/n} - 1] \times 100$$

Donde:

δ_n = tasa de cambio promedio anual para la clase *i* en el periodo evaluado.

S_{i1} = superficie total de la clase *i* en el tiempo 1.

S_{i2} = superficie total de la clase *i* en el tiempo 2.

n = diferencia de tiempo entre dos periodos evaluados.

Finalmente, para ilustrar los procesos de fragmentación y compararlos posteriormente con la información avifaunística, se elaboró un mapa de la fragmentación del hábitat de la Sierra Madre Oriental potosina con el SIG ArcView (3.2) y la extensión Texture Analysis and Neighbourhood Statistics versión 1.2 (Behrens, 2003). Esta extensión calcula un índice de fragmentación y lo representa en un espacio geográfico en el cual se ilustra la tendencia hacia la homogeneidad o heterogeneidad del paisaje. El índice de fragmentación está basado en el algoritmo de Monmonier (1974) y de acuerdo con Bogaert y Barima (2008) este índice cuantifica el número de parches en función de la superficie total de un núcleo (cuadrante), expresado como el número total de píxeles; la presencia de varios parches de distintas coberturas dentro de un núcleo indica una elevada riqueza de parches pero a su vez significa un elevado grado de fragmentación. Si el valor del índice de fragmentación tiende a 1 hay mayor fragmentación (heterogéneo), y si el índice tiende a 0 se presenta menor fragmentación o mayor conectividad (homogéneo). Para la elaboración del mapa de fragmentación se utilizó la cobertura de vegetación y uso de suelo más reciente (del año 2005) y se asignó en el programa la evaluación del índice en núcleos de 21 píxeles por 21 píxeles (110 Ha).

6.2. Recopilación de información avifaunística

Se reunió información de registros primarios de ocurrencia de las especies de aves para la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí publicada en la literatura (*e.g.*, Sutton y Burleigh, 1940a, 1940b; Davis y Johnson, 1947; Lowery y Newman, 1949, 1951; Friedmann *et al.*, 1950; Davis, 1952; Sutton, 1955; Miller *et al.*, 1957; Easterla, 1964; Jackson, 1990; Navarro *et al.*, 2004; Vargas-Canales, 2006), asimismo se consideraron los registros de especímenes de aves colectadas y depositadas en colecciones científicas de instituciones nacionales y del extranjero almacenados en el Atlas de las Aves de México (Navarro *et al.*, 2003, ver agradecimientos), en bases de datos en línea (aVerAves, <http://www.conabio.gob.mx>; ORNIS, <http://olla.berkeley.edu/ornisnet>; US Breeding Bird Survey, <http://www.bto.org/bbs/index.htm>; Christmas Birds Counts, <http://www.audubon.org/Bird/cbc>; y la Avian Knowledge Network, <http://www.avianknowledge.net>) y por registros

generados de trabajo de campo llevado a cabo por diversos investigadores y personalmente durante el año 2009 y 2010, esto con el fin de acumular los datos puntuales.

El trabajo de campo consistió en recolectar aves con redes de niebla (6 a 10) especiales para aves (12 m x 2.5 m y 1.5 cm de abertura de malla) en salidas de 2 a 3 días cada dos meses, a partir de enero de 2009 a mayo de 2010 en localidades elegidas al azar por tipo de vegetación. Las redes permanecieron abiertas en jornadas de 12 horas en promedio, desde las 6:30 hrs hasta las 18:30 hrs (modificado de Ralph *et al.*, 1996). Durante el trabajo de campo, las aves fueron identificadas con las guías de campo de las Aves de México y de Norteamérica (Peterson y Chalif, 1989; Howell y Webb, 1995). También, durante el trayecto a las localidades se tomaron registros visuales, auditivos y fotográficos, mismos que fueron agregados a la base de datos.

De manera adicional, se realizó la colecta científica de algunos individuos en algunas localidades. La importancia de la colecta científica radica en que documenta la presencia de los organismos mediante la existencia de especímenes de referencia además de que permite el desarrollo de otros tipos de estudios (Rojas-Soto *et al.*, 2002; Winker, 2005). Los especímenes de referencia están depositados en la Colección de Aves del Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” de la Facultad de Ciencias, UNAM.

Con la información acumulada, se obtuvieron las coordenadas geográficas de cada localidad de registro y se generó una base de datos relacional de la avifauna de la Sierra Madre Oriental potosina con la información puntual de cada registro-localidad en donde se consideró la siguiente información del registro presencial de las aves: nombre de la especie, familia y orden; estado, municipio, localidad, longitud, latitud, altitud, fecha de colecta, categoría estacional, categoría de riesgo y endemismo. La base de datos se elaboró con el programa Access (Microsoft, 2007), y posteriormente se llevó a cabo la depuración de la base de datos para eliminar aquellos registros cuya presencia en la región fue dudosa, esto es, aquellos registros que carecieron de localidad o de nombre de la especie o de los cuales se tuvo referencia respaldada por únicamente un registro de observación y no ostentara ejemplar de referencia, evidencia auditiva y/o fotográfica en alguna colección científica, base de datos confiable y la literatura.

Se utilizó cartografía especializada (INEGI, 1987; SCT, 1995) para georreferenciar a las localidades que carecieran de coordenadas geográficas. Posteriormente la lista de localidades georreferenciadas se exportó en formato DBase IV al sistema de información geográfica comercial (SIG) ArcGis 9.3 (ESRI, 2008) donde se ubicaron los puntos pertenecientes a las localidades en la cartografía digital con rasgos fisiográficos de la Sierra Madre Oriental potosina (proyecto SEMARNAT-2006-C01-23754) y el mapa digital de División Política Estatal (INEGI *et al.*, 1990), esto con el propósito de corroborar que las georreferencias se encontraran dentro de los límites de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí, de manera que aquellas georreferencias que se encontraron fuera de los límites del área de estudio no fueron consideradas.

6.3. Lista de aves de la Sierra Madre Oriental potosina

Para generar la lista de aves el ordenamiento supraespecífico y específico siguió a AOU (1998). También, con base en la literatura (Friedmann *et al.*, 1950; Miller *et al.*, 1957; Peterson y Chalif, 1989; Howell y Webb, 1995), se excluyeron a las especies que presentaron una distribución geográfica muy alejada del área de estudio, de tal manera que con ello se generó la lista final.

Se elaboraron otras dos listas: lista de especies endémicas y lista de especies bajo alguna categoría de riesgo. La lista de especies endémicas se basó en las categorías propuestas por la AOU (1998), González-García y Gómez de Silva (2003) y la lista de las aves de la Sierra Madre Oriental (Navarro *et al.*, 2004), en las que se consideraron especies endémicas a México (E) a aquellas cuya distribución se restringe al país, en la categoría de especies cuasi endémicas (Q) a aquellas especies de aves en las que su distribución se extiende fuera del país en un área no mayor a 35 000 km², en la categoría de especies semi endémicas (S) a aquellas que están en México y presentan áreas de distribución extrema alrededor de los límites fronterizos y, la categoría de especies endémicas a la Sierra Madre Oriental (ES) a las especies endémicas que tienen distribución restringida dentro de los límites de ésta provincia biogeográfica.

La lista de especies bajo alguna categoría de riesgo se obtuvo considerando fuentes nacionales e internacionales de protección y comercio de aves: Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010), la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, 2009) y la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2009). Según la NOM-059-SEMARNAT-2010 las categorías de riesgo son E: probablemente extinta en el medio silvestre; P: en peligro de extinción; A: amenazada; Pr: sujeta a protección especial. Según CITES las categorías de riesgo son Apéndice I: especies en peligro de extinción; Apéndice II: especies amenazadas; Apéndice III: especies sujetas a protección y comercio reglamentado. Según la IUCN las categorías de riesgo son EX: extinta, EW: extinta en la naturaleza; CR: en alto peligro de extinción; EN: en peligro; VU: vulnerable; NT: en bajo peligro; LC: mínima preocupación; DD: datos deficientes.

Por otro lado, se obtuvo la estacionalidad de cada una de las especies con base en las fechas de presencia en las diferentes localidades, según los datos de colecta y se asignaron las siguientes categorías propuestas por Howell y Webb (1995) para las aves de México:

- Residentes Permanentes (RB). Especies que se encuentran en México todo el año.
- Visitantes de verano (SR). Especies migratorias que se encuentran en México durante la etapa reproductiva (fines de marzo-septiembre, aproximadamente).
- Visitantes de invierno (WV). Especies migratorias que pasan el invierno en México y que se reproducen en el norte del país.
- Transitoria (T). Especies que solamente se encuentran de paso en la región por un breve tiempo y que van en camino a sus zonas de residencia invernal o de reproducción.
- Accidental (A). Especies que se encuentran en la región cuando se desvían de su ruta de migración debido a cambios en las condiciones ambientales.

De manera complementaria se evaluó el conocimiento de la avifauna en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí con base en la acumulación de la riqueza de aves a través del tiempo, tomando como esfuerzo de muestreo todos los años en los que se han efectuado observaciones y/o colectas. Para analizar el manejo de la información el análisis se agrupó en

décadas (Soberón y Llorente, 1993) y para entender el patrón general de la acumulación de la riqueza a través del tiempo, los datos se ajustaron mediante una regresión lineal.

6.4. Análisis de los patrones de distribución de la riqueza, endemismo y estacionalidad de las aves

Para conocer y analizar los patrones de distribución espacial de las aves de la Sierra Madre Oriental potosina se sobrepusieron los registros puntuales de la riqueza total, de las especies endémicas, la riqueza estacional y de las especies bajo alguna categoría de riesgo en la cartografía digital de los tipos de vegetación con uso del suelo y estado de conservación de la vegetación de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí (Reyes-Hernández *et al.*, 2009) y el mapa de intervalos altitudinales (hipsometría) (INEGI, 1990). La cartografía digital se obtuvo de la página de la CONABIO (<http://www.conabio.org.mx>) y por la información generada en el proyecto SEMARNAT-2006-C01-23754. Todos los mapas de distribución se generaron en el SIG ArcGis 9.3 (ESRI, 2008). La información avifaunística fue correlacionada con cada una de las variables cartográficas y con ello se determinó su distribución espacial y además se analizaron los patrones históricos generales a nivel regional mediante la interpretación de gráficos de frecuencia. Para entender el patrón general de la riqueza de aves con relación a los intervalos altitudinales, se realizó una regresión logarítmica.

Considerando que los registros de aves son históricos (1888-2010) y que la vegetación original ha tenido múltiples cambios en el transcurso del tiempo, es posible que algunos taxones no estén presentes en los actuales tipos de vegetación, principalmente en sitios que han sido transformados por la extensión de actividades agropecuarias y la urbanización. Sin embargo, para tener datos más confiables se utilizó la información generada en el proyecto SEMARNAT-2006-C01-23754 de donde se hizo uso de las capas interpretadas y verificadas en el campo de los tipos de vegetación y uso del suelo, y de las capas del estado de conservación de los mismos. Dichas capas se sobrepusieron, de tal manera que al unir los registros de aves con los tipos de vegetación y uso del suelo se obtuvieron los registros de aves en áreas con algún grado de conservación o cambio. De este

modo, los registros correspondieron a sitios con vegetación original (conservada), zonas urbanas (sin cambios), zonas agrícolas y pastizales (sin cambios), y sitios con vegetación perturbada debido al cambio de vegetación original a otro uso del suelo. Para el mejor manejo de la información, la clasificación de los tipos de vegetación original y uso del suelo que no han presentado cambios (por ejemplo, áreas históricamente destinadas a la agricultura, zonas urbanas) no se alteró y sólo se agregó la clase de “vegetación perturbada” para aquellos registros históricos y recientes que correspondieron a sitios que han presentado cambios de vegetación, por ejemplo, de selva alta perennifolia a vegetación de zonas urbanas.

Finalmente, con el propósito de evaluar estadísticamente la asociación de la riqueza de aves con respecto a los intervalos altitudinales y los tipos de vegetación y uso del suelo de la zona de estudio, se realizó la prueba de Ji Cuadrada (X^2) con un nivel de significancia de 5% ($\alpha= 0.05$). Esta prueba estadística no paramétrica permite evaluar la independencia entre variables discretas (*e.g.* conteos) a partir de una tabla de contingencia y su resultado ($X^2_{calculada}$) sirve para probar la validación de hipótesis mediante su contraste con los valores determinados en tablas estadísticas (X^2_{tabla}). Si el valor de $X^2_{calculada}$ es mayor o igual a X^2_{tabla} entonces la hipótesis planteada se rechaza y si sucede lo contrario, se acepta. Por lo tanto, para evaluar lo antes mencionado, se planteó la siguiente hipótesis nula (H_0) e hipótesis alternativa (H_1):

- H_0 : la proporción de riqueza de aves en la Sierra Madre Oriental potosina es independiente de los intervalos altitudinales y de los tipos de vegetación.
- H_1 : la proporción de riqueza de aves en la Sierra Madre Oriental potosina es dependiente de los intervalos altitudinales y de los tipos de vegetación.

6.5. Modelado de la distribución potencial con el algoritmo MaxEnt

Con el objetivo de conocer los patrones de distribución potencial de nichos de la riqueza total, de las especies endémicas, residentes, migratorias y de la riqueza de aves bajo

alguna categoría de riesgo, se utilizó el algoritmo de máxima entropía (MaxEnt versión 3.3.2; Phillips *et al.*, 2004; Phillips *et al.*, 2006).

Este método utiliza los registros de ocurrencia de las especies, así como las coberturas geográficas y climáticas que representan los parámetros ambientales donde ocurren las mismas. La información geográfica y ambiental con la que se determinó ecológicamente a la zona de estudio se obtuvo de tres fuentes de datos en formato raster: 1) WorldClim Global Climate Data (Hijmans *et al.*, 2005; <http://www.worldclim.org>), que alberga datos climáticos como temperaturas máximas, temperaturas mínimas, precipitación máxima y precipitación mínima, entre otros, de los años 1950 al 2000 y 2) U. S. Geological Survey GTOPO30 (USGS, 2009; http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30_info), que es un modelo digital de elevación e incluye variables topográficas como elevación y pendientes y, 3) por la información de los tipos de vegetación y uso de suelo de la Sierra Madre Oriental. Las coberturas ambientales empleadas en este análisis se muestran en el cuadro 1.

Todas las coberturas ambientales y registros biológicos fueron proyectados en el sistema de coordenadas geográfico GCS_WGS_1984. Para evitar incongruencias en las coberturas digitales empleadas, antes de generar los modelos, se realizó su homogenización espacial mediante un remuestreo, obteniendo una resolución espacial de 30 x 30 metros de tamaño de píxel.

Con base en la propuesta de Phillips *et al.* (2006), con los datos de entrada preestablecidos en el algoritmo, se realizaron los modelos ecológicos de nicho para cada especie. Para obtener el cálculo de la distribución geográfica más probable para una especie, se eligió como modelo de salida la probabilidad acumulativa (Phillips *et al.*, 2006, Suárez-Seoane *et al.*, 2008), en donde el valor de un píxel es la suma de este y de todos los demás con igual o menor probabilidad, multiplicado por 100 para dar un porcentaje. Un píxel o celda con valor alto (cercano al 100 %) indica que ésta presenta condiciones muy favorables para la presencia de la especie (Suárez-Seoane *et al.*, 2008).

CUADRO 1. Variables ambientales utilizadas para la elaboración de los modelos ecológicos de nicho.

Fuente: WorldClim			
CLAVE	VARIABLE	CLAVE	VARIABLE
BIO1	Temperatura media anual	BIO11	Temperatura media del cuatrimestre más frío
BIO2	Intervalo medio anual (media mensual de temperatura máxima - temperatura mínima)	BIO12	Precipitación promedio anual
BIO3	Isotermalidad	BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO4	Temperatura estacional (desviación estándar * 100)	BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO5	Temperatura máxima del mes más caliente	BIO15	Precipitación estacional (coeficiente de variación)
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío	BIO16	Precipitación del cuatrimestre más húmedo
BIO7	Intervalo anual de temperatura	BIO17	Precipitación del cuatrimestre más seco
BIO8	Temperatura media del cuatrimestre más húmedo	BIO18	Precipitación del cuatrimestre más caliente
BIO9	Temperatura media del cuatrimestre más seco	BIO19	Precipitación del cuatrimestre más frío
BIO10	Temperatura media del cuatrimestre más caliente		
Fuente: USGS GTOPO 30			
GTOPO	Modelo digital de elevación (DEM)		
Fuente: SEMARNAT-2006-C01-23754			
VEG	Vegetación		

Con el propósito de conocer y obtener la significancia estadística en los mapas de distribución potencial, se obtuvo la precisión de los modelos mediante la evaluación de la curva de características operativas del receptor (ROC, por sus siglas en inglés de Receiver Operating Characteristic) generada en cada modelo de salida. De acuerdo con Phillips *et al.*, (2006) y Phillips y Dudík (2008), una curva ROC (Fig. 5) muestra la precisión del modelo, sus datos de salida dependen de los parámetros de un umbral y esto se ilustra mediante la división de los datos en dos conjuntos: datos de entrenamiento (*training data*) y datos de evaluación del modelo (*test data*). Los datos de entrenamiento del modelo (línea roja) representan el ajuste del modelo a los datos de muestreo y generalmente presentan mayor valor sobre los datos de evaluación del modelo generado (línea azul). También se presenta una predicción aleatoria (línea negra) que indica lo que se esperaría si el modelo no fuera mejor que el azar. El área bajo una curva ROC (AUC) tiene una interpretación estadística

pues es la probabilidad de que se ordenen correctamente dos puntos (en este caso es la precisión de los datos del entrenamiento y la evaluación). Cuando la AUC presenta un valor cercano a 1 el modelo exhibe la máxima precisión y esto se aprecia cuando el valor de la línea azul tiende a acercarse e igualar el valor de la línea roja. Cuanto más se aproxime la línea azul a la línea roja mejor será el modelo para predecir las presencias de los datos de evaluación y si la línea azul se encuentra por debajo de la línea negra, entonces el modelo es inferior o peor que si se hubiese hecho al azar. Los modelos con valores de AUC superiores a 0.75 son considerados potencialmente útiles (Elith *et al.*, 2006; Phillips y Dudík, 2008; Suárez-Seoane *et al.*, 2008).

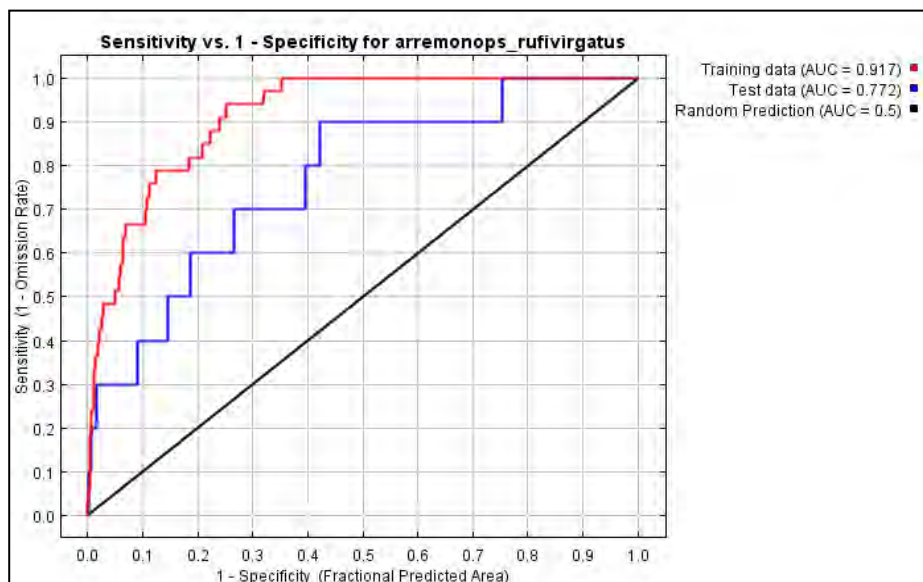


Figura 5. Ejemplo de la curva de características operativas del receptor (ROC) para el rascador oliváceo (*Arremonops rufivirgatus*). La línea roja representa el valor de los datos de entrenamiento y la línea azul indica el valor de la precisión de la evaluación del modelo generado.

Algunos estudios sugieren utilizar entre en 20% y el 40% de los registros biológicos como datos de evaluación del modelo, dejando el resto de los registros (60-80 por ciento) como datos de entrenamiento del modelo de distribución potencial (Phillips y Dudík, 2008; Suárez-Seoane *et al.*, 2008). En el presente estudio se utilizó el 25% de los registros de aves por especie como datos para la evaluación del modelo (*test data*) y el 75% restante como datos de entrenamiento (*training data*).

Para la elaboración de los mapas finales de distribución potencial, se hizo la suma de los modelos ecológicos de nicho generados en el algoritmo Maxent (Phillips, 2006). Se seleccionó la probabilidad acumulativa de cada modelo con valor igual o mayor al 70% con el objeto de considerar dicho valor como umbral de presencia de las especies y así evitar la posible sobrepredicción de los modelos. Finalmente, se obtuvieron las siguientes predicciones para la avifauna de la Sierra Madre Oriental potosina: distribución potencial de la riqueza total, distribución potencial de la riqueza endémica, distribución potencial de la avifauna residente, distribución potencial de la avifauna residente total (especies residentes y especies migratorias con poblaciones residentes), distribución potencial de las aves migratorias y distribución potencial de las aves bajo alguna categoría de riesgo. Estos mapas se utilizaron posteriormente para comparar con el mapa de fragmentación y discutir con la información de la distribución espacial elaborados previamente.

6.6. Determinación de la avifauna en el paisaje fragmentado y en áreas de conservación

Se evaluó la representatividad de la avifauna en las áreas de conservación biológica de la zona de estudio considerando el mapa de fragmentación del hábitat y los mapas hipotéticos de la distribución de las aves. Para lograr este objetivo, se sobrepusieron los mapas de distribución potencial generados con el algoritmo Maxent (Phillips *et al.*, 2004; Phillips *et al.*, 2006) y el mapa de fragmentación del hábitat más reciente de la Sierra Madre Oriental potosina con respecto a la unión de los mapas digitales de las Áreas Naturales Protegidas (ANP; CONANP, 2003) y Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS; CIPAMEX-CONABIO, 1999). La unión de los mapas digitales dio como resultado un mapa consenso de áreas prioritarias para la conservación. Posteriormente, se evaluó, comparó y discutió las zonas mejor representadas en términos de avifauna en cada uno de los sistemas de conservación y, finalmente considerando las métricas del paisaje de las alteraciones actuales de éste se establecieron criterios para poder definir áreas prioritarias y estrategias de conservación de las aves en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí.

7. RESULTADOS

7.1. Procesos de fragmentación del hábitat en la Sierra Madre Oriental potosina

Los resultados del análisis temporal de las fases de la fragmentación del hábitat de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí del año de 1989 a 2005 mostraron que la vegetación acuática fue la cobertura más dinámica al perder más de una cuarta parte de su superficie en una tasa de cambio promedio anual del 2%; se redujo la superficie de las selvas, matorrales xerófilos, cuerpos de agua y bosques. En contraste, hubo un incremento en las áreas ocupadas por pastizales y zonas urbanas; las áreas destinadas a la agricultura de riego y de temporal aumentaron su extensión, mientras que la vegetación secundaria fue la que presentó el mayor incremento en su superficie al aumentar el 22.4 % (cuadro 2).

El cuadro 3, muestra que las coberturas de vegetación secundaria, agricultura de temporal y los pastizales presentaron el mayor incremento en el número de fragmentos, seguidos de los bosques, selvas y, en menor proporción, las áreas de agricultura de riego. En cuanto a la cobertura de zonas urbanas, no se identificaron aumentos en el número de parches o fragmentos.

De acuerdo con los datos obtenidos en la comparación temporal del tamaño medio de los parches por cobertura (cuadro 4), se encontró que de 1989 a 2005 hubo un aumento en el tamaño promedio de las áreas de vegetación acuática, seguido de las zonas urbanas, los cuerpos de agua y, en menor orden, en los sitios destinados a la agricultura de riego. Se redujo el tamaño promedio de los parches de pastizales, matorrales, selvas, agricultura de temporal, bosques y en zonas con vegetación secundaria.

CUADRO 2. Comparación de la superficie total de los fragmentos (SUPF) de cada cobertura de la zona de estudio y comparación de la tasa de cambio promedio anual (TC) en un intervalo de tiempo. SUPF= hectáreas; TC= 1989-2005.

COBERTURA/AÑO	1989	2000	2005	TOTALES	% TOTAL	TC
Agricultura de riego	51,462.00	54,266.74	54,291.79	2,829.78	5.21	0.33
Agricultura de temporal	121,330.12	140,011.70	142,415.75	21,085.65	14.81	1.00
Bosques	192,926.16	186,490.28	186,214.82	-6,711.35	-3.48	-0.22
Cuerpos de agua	3,130.29	2,980.04	2,980.04	-150.25	-4.80	-0.31
Matorrales	119,176.48	115,119.62	114,869.20	-4,307.28	-3.61	-0.23
Pastizales	35,309.69	41,670.45	42,121.21	6,811.52	16.17	1.10
Selvas	240,706.94	223,127.22	220,798.28	-19,908.66	-8.27	-0.54
Vegetación acuática	2,454.15	1,778.01	1,778.01	-676.14	-27.55	-2.03
Vegetación secundaria	2,429.11	3,155.33	3,130.29	701.19	22.40	1.57
Zonas urbanas	1352.29	1,677.84	1,677.84	325.55	19.40	1.34
SUPERFICIE TOTAL	770,277.23	770,277.23	770,277.23			

CUADRO 3. Comparación temporal del número de parches o fragmentos para los tipos de cobertura del terreno en la Sierra Madre Oriental potosina.

COBERTURA/AÑO	1989	2000	2005	TOTALES	%TOTALES
Agricultura de riego	27	28	28	1	3.6
Agricultura de temporal	996	1,220	1,284	288	22.4
Bosques	134	141	144	10	6.9
Cuerpo de agua	48	44	44	-4	-8.3
Matorrales	41	46	46	5	10.9
Pastizales	544	751	775	231	29.8
Selvas	178	186	189	11	5.8
Vegetación acuática	23	15	15	-8	-34.8
Vegetación secundaria	36	53	52	16	30.8
Zonas urbana	33	33	33	0	0

CUADRO 4. Comparación temporal del tamaño medio de los fragmentos (TMF) en los tipos de cobertura del terreno. TMF= hectáreas

COBERTURA/ AÑO	1989	2000	2005	% TOTAL
Agricultura de riego	1,993.5	2,028.7	2,029.3	1.8
Agricultura de temporal	121.9	114.8	111.1	-8.9
Bosques	1,508.2	1,411.2	1,379.3	-8.5
Cuerpos de agua	60.5	64	64	5.4
Matorrales	2,940.6	2,530.8	2,526.7	-14.1
Pastizales	66.3	56.1	55.1	-16.9
Selvas	1,400.9	1,257.6	1,226.1	-12.5
Vegetación acuática	488	698	698	30.1
Vegetación secundaria	67.3	61.8	62.6	-6.9
Zonas urbanas	42.1	52.1	52.1	19.2

Con base en el cuadro 5, se identificaron las zonas de agricultura de temporal como la cobertura con mayor longitud de borde, sin embargo, es la vegetación secundaria la que presentó el mayor aumento porcentual en el lapso de 16 años. Se identificó un incremento en el perímetro total de los parches de pastizales, agricultura de riego, zonas urbanas y, en menor proporción en los bosques, matorrales y selvas. Los cuerpos de agua y la vegetación acuática exhibieron una pérdida en el perímetro total de los parches, siendo este último el que ha reducido más del 33 % su cantidad de borde.

Los resultados del cálculo de la conectividad de los fragmentos a nivel de clases (coberturas), que se basaron en la obtención de la distancia media del vecino más cercano (MNN; cuadro 6), señalan que de 1989 a 2005 se presentó una tendencia a la conectividad de los fragmentos principalmente en las coberturas asociadas a las actividades antropogénicas, es decir, en la agricultura de temporal, agricultura de riego, pastizales, vegetación secundaria y vegetación de zonas urbanas, siendo esta última la que exhibió el mayor porcentaje. El aislamiento de parches se presentó en mayor proporción en los cuerpos de agua, al cual le siguieron la vegetación acuática, los matorrales y selvas en menor relación.

Finalmente, con base en el mapa de fragmentación del hábitat (Fig. 6), se encontró una tendencia general hacia la heterogeneidad del paisaje en la porción central, suroeste y norte de la zona de estudio, lo que significa la presencia de varios parches de distintas coberturas de suelo, aunque también sobresalen zonas con baja fragmentación (zonas azules)

principalmente en la porción serrana del municipio de Aquismón y Xilitla así como en el noroeste de Ciudad del Maíz y la porción central de la Sierra Madre Oriental potosina, específicamente en la zona de San Nicolás de los Montes, Tamasopo y sus límites colindantes con el municipio de Ciudad del Maíz.

CUADRO 5. Comparación temporal del total de borde de los fragmentos (BORT) por cobertura. BORT= kilómetros.

COBERTURA/ AÑOS	1989	2000	2005	TOTALES	% TOTAL
Agricultura de riego	1,244.5	1,305	1,304.7	60.2	4.6
Agricultura de temporal	6,174.4	6,931.1	7,027.1	852.7	12.1
Bosques	2,702.7	2,681.1	2,706.3	3.5	0.1
Cuerpos de agua	793.3	785.4	785.4	-7.9	-1
Matorrales	2,426.5	2,468.2	2,470.8	44.3	1.8
Pastizales	1,973.9	2,513.4	2,566.0	592.1	23.1
Selvas	5,149.3	5,344.1	5,365.9	216.6	4
Vegetación acuática	144.4	96.5	96.5	-47.9	-33.2
Vegetación secundaria	165.4	236.6	234.6	69.1	29.5
Zonas urbanas	106.5	120.9	120.9	14.4	11.9

CUADRO 6. Comparación temporal de la distancia media del vecino más cercano (MNN) para los tres años evaluados por cobertura. MNN= kilómetros.

COBERTURA/AÑO	1989	2000	2005	TOTALES	TENDENCIA FRAGMENTACIÓN
Agricultura de temporal	4.05	3.73	3.74	-0.31	Conectividad
Agricultura de riego	15.10	4.79	4.49	-10.61	Conectividad
Bosques	5.23	3.21	3.19	-2.05	Conectividad
Cuerpos de agua	1.80	5.76	5.77	3.97	Aislamiento
Matorrales	1.98	3.50	3.50	1.52	Aislamiento
Pastizales	7.51	5.31	5.28	-2.23	Conectividad
Selvas	1.81	2.98	2.94	1.13	Aislamiento
Vegetación acuática	11.58	14.52	14.52	2.94	Aislamiento
Vegetación secundaria	31.51	12.13	12.43	-19.09	Conectividad
Zonas urbanas	80.36	30.37	30.37	-49.99	Conectividad

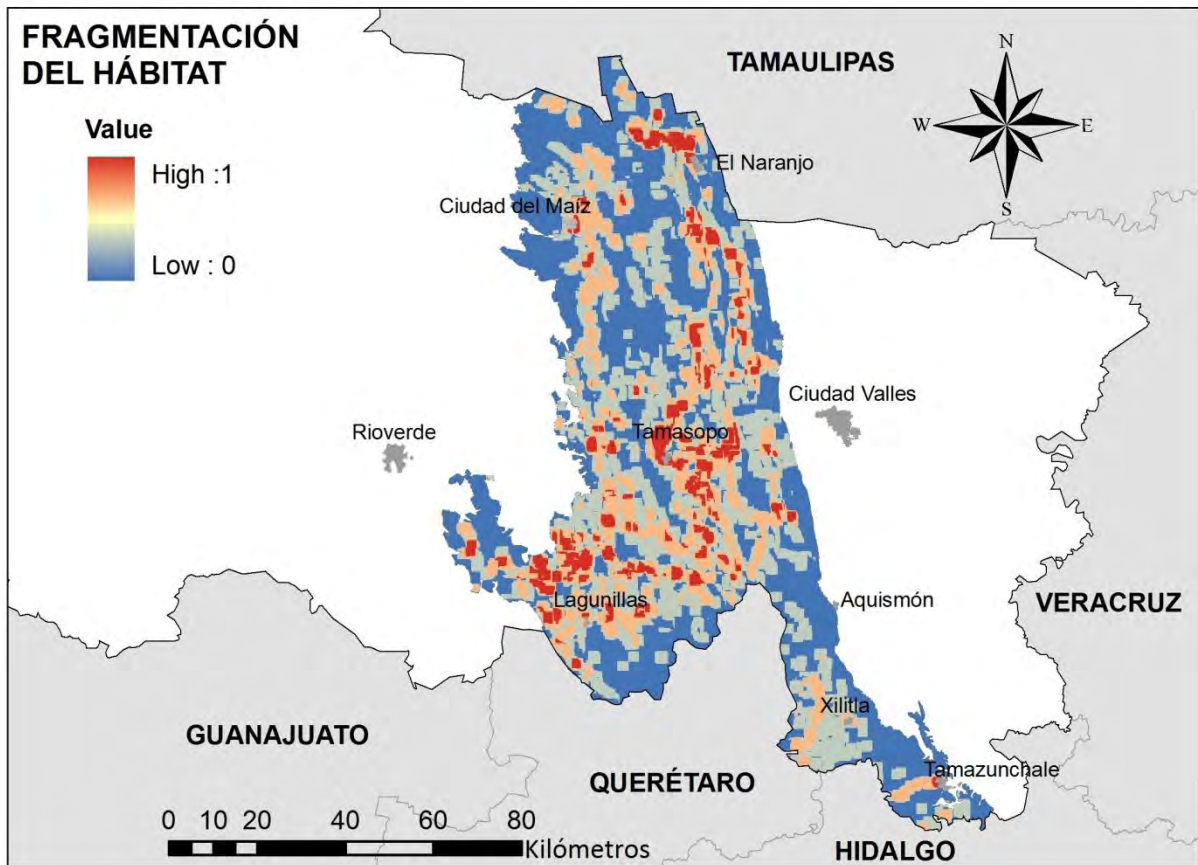


Figura 6. Fragmentación del hábitat en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí.

7.2. Composición de la avifauna de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí

Se obtuvieron 11189 registros de aves provenientes de 923 localidades únicas del estado de San Luis Potosí. De ésta información, sólo 4892 registros de aves procedentes de 331 localidades únicas correspondieron a la Sierra Madre Oriental potosina (Fig. 7). Se obtuvo una riqueza total de 356 especies, que pertenecen a 52 familias de 20 órdenes de aves (Anexo 1). El número máximo de registros de aves por localidad única de colecta fue de 362 registros (Fig. 8), mientras que la riqueza máxima por localidad única de colecta fue de 111 especies de aves (Fig. 9).

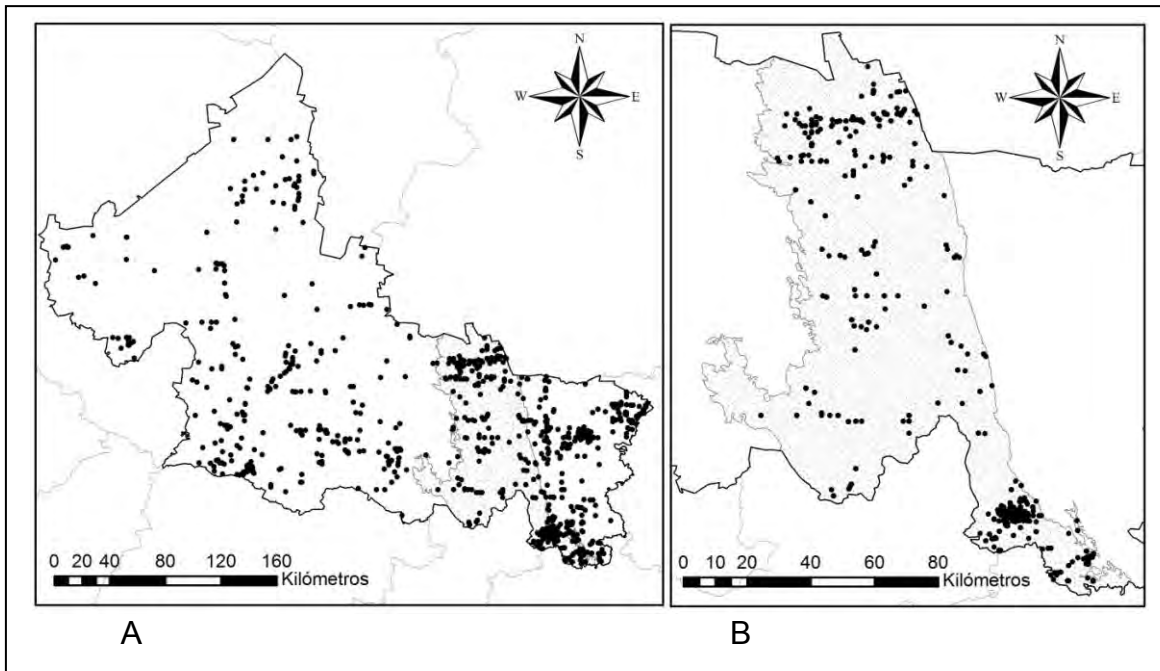


Figura 7. Localidades únicas de registros de aves. A) San Luis Potosí. B) Sierra Madre Oriental potosina. Tomado y modificado de la base de datos del Atlas de las aves de México (Navarro *et al.*, 2003).

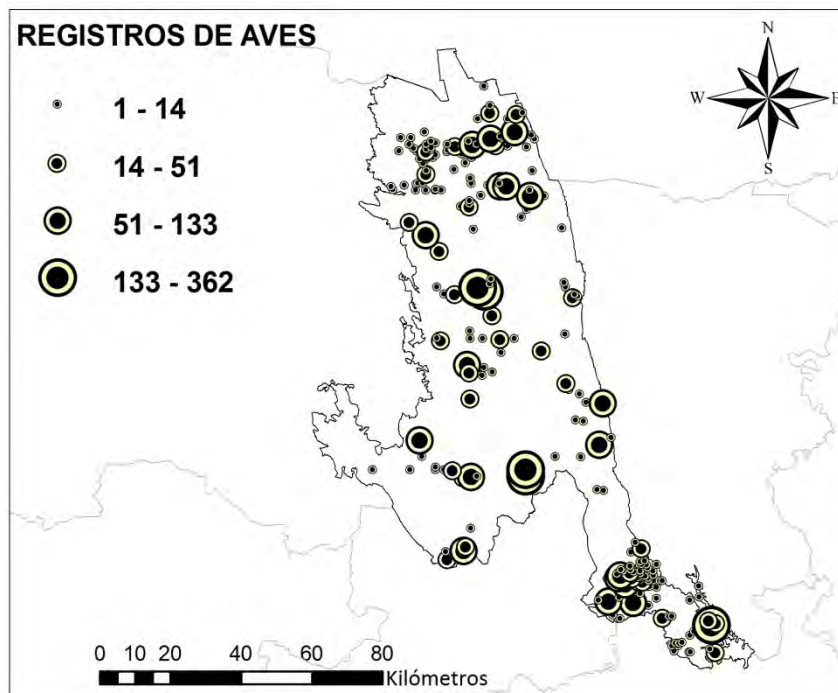


Figura 8. Número de registros de aves por localidad única de colecta en la Sierra Madre Oriental potosina.

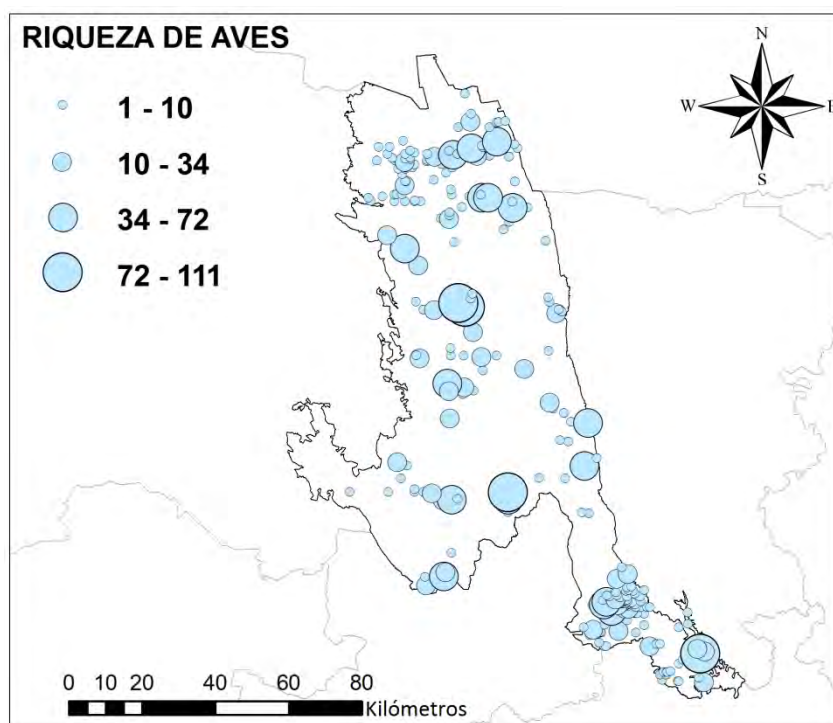


Figura 9. Riqueza de aves por localidad única de colecta en la Sierra Madre Oriental potosina.

Se determinó que el orden con más registros de aves en la Sierra Madre Oriental potosina fue el orden Passeriformes con 3350 registros, es decir, el 68.5% de los registros históricos totales en la zona de estudio (Fig. 10). Dentro de las familias del orden Passeriformes destacaron con el mayor número de registros de aves las familias Tyrannidae, Parulidae, Turdidae y Cardinalidae (Fig. 11). De modo similar, el orden con más riqueza de fue el orden Passeriformes con 217 especies distribuidas en 25 familias (Fig. 12), de las cuales sobresalieron con mayor riqueza las familias Parulidae (38 especies), Tyrannidae (35 especies) y Emberizidae (24 especies) (Fig. 13).

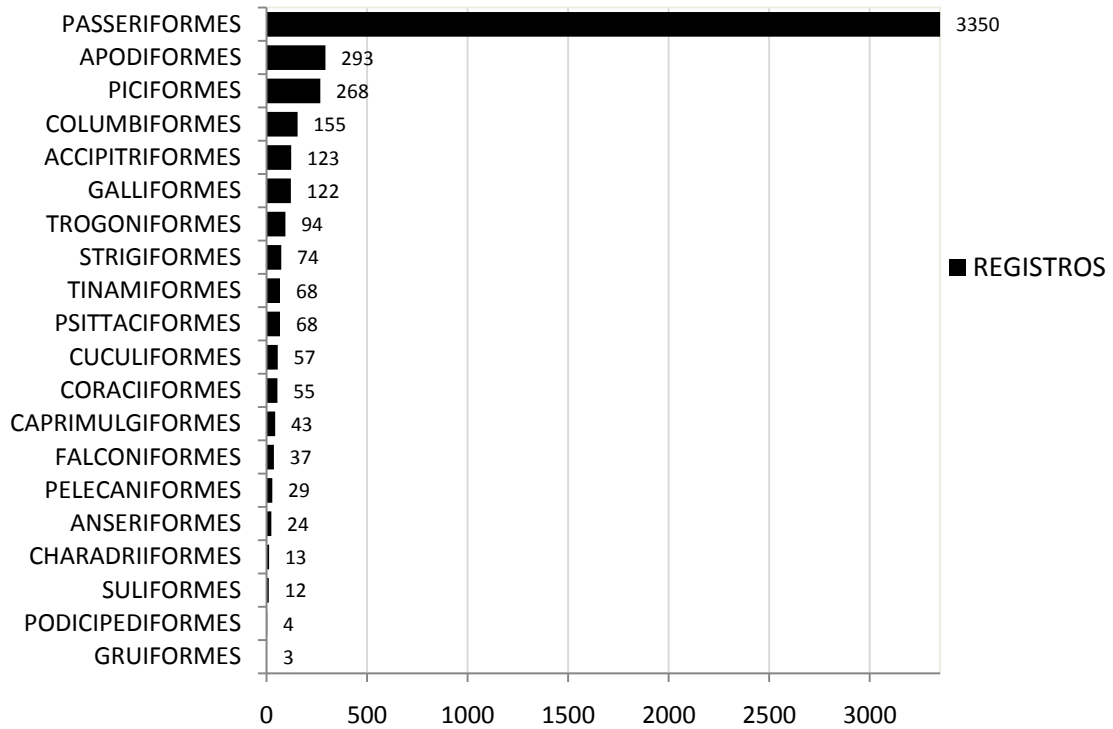


Figura 10. Número de registros de aves en la Sierra Madre Oriental potosina.

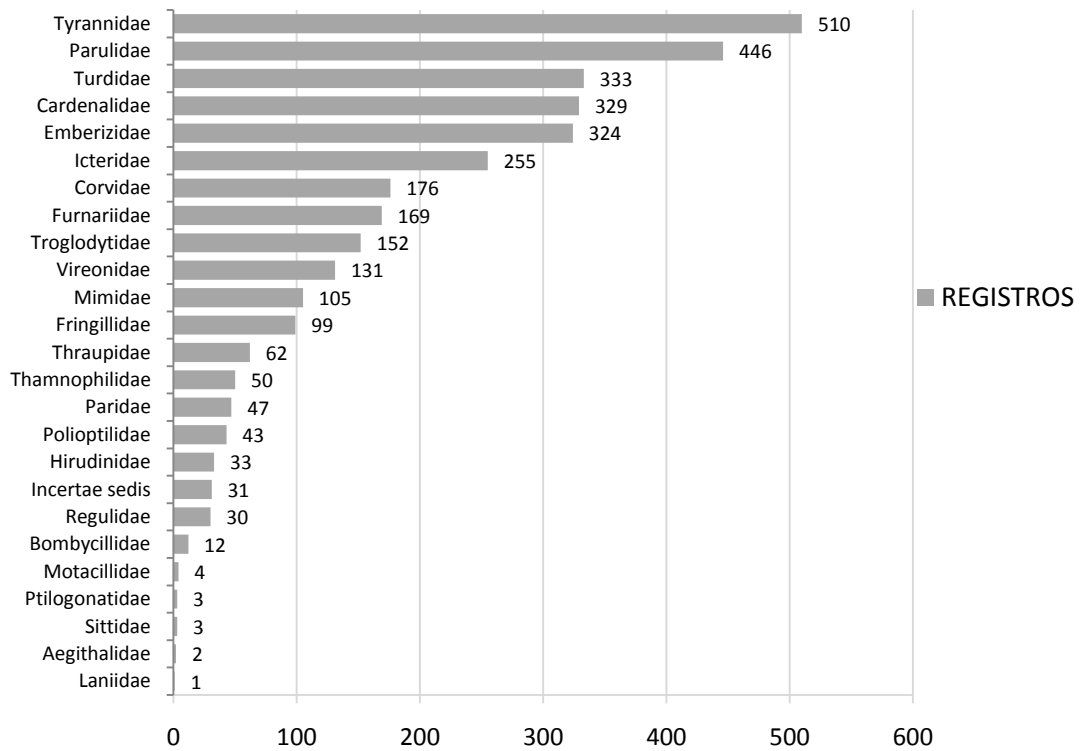


Figura 11. Número de registros de aves en las familias del orden Passeriformes.

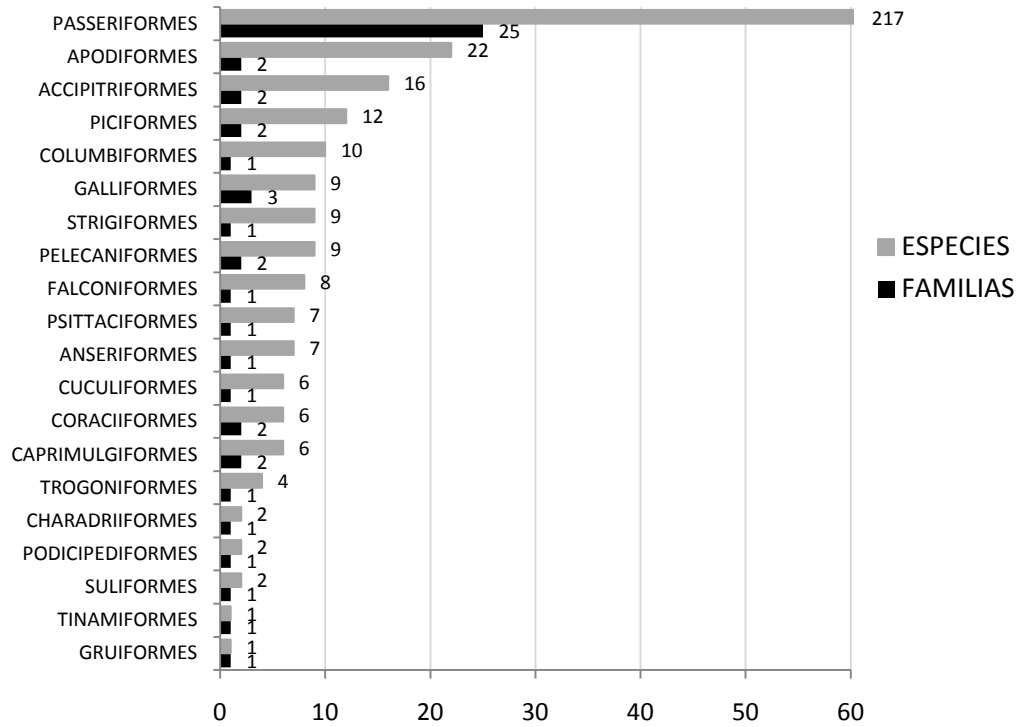


Figura 12. Composición de la avifauna de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí.

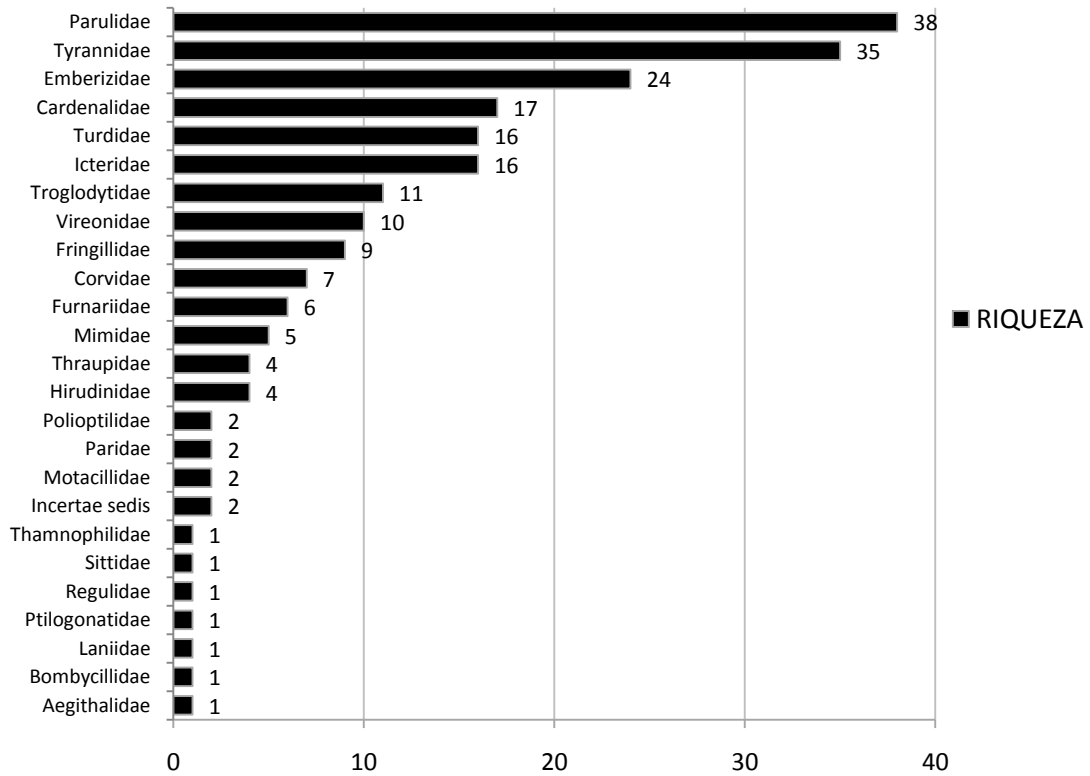


Figura 13. Número de especies de aves en las familias del orden Passeriformes.

Con respecto al estado de protección y conservación de la avifauna de la Sierra Madre Oriental potosina se encontró que 54 especies se encuentran bajo protección a nivel nacional por la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010) de éstas, 16 están amenazadas, 30 están sujetas a protección especial y 8 especies se encuentran en peligro de extinción (*Amazona oratrix*, *Amazona viridigenalis*, *Ara militaris*, *Cairina moschata*, *Dendrortyx barbatus*, *Geothlypis flavovelata*, *Glaucidium sanchezi* y *Spizaetus ornatus*). Bajo los estándares internacionales de protección de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), se determinó que 4 especies son vulnerables mientras que sólo dos psitácidos (*Amazona oratrix* y *A. viridigenalis*) se encuentran en peligro de extinción. De acuerdo con los esquemas de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) cuatro especies (*Falco peregrinus*, *Ara militaris*, *Amazona oratrix* y *A. viridigenalis*) se encuentran en peligro de extinción mientras que 49 especies, entre las que destacan Falconiformes, Strigiformes, Psittaciformes y Apodiformes, se consideran amenazadas (Anexo 1).

En lo referente al endemismo de la avifauna, dentro de los límites de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí se encuentran 14 especies endémicas a México, 10 especies cuasi endémicas, 15 especies semi endémicas a México y solamente dos especies endémicas a la región Sierra Madre Oriental: el tecolote tamaulipeco (*Glaucidium sanchezi*) y la codorniz-coluda veracruzana (*Dendrortyx barbatus*), ambas protegidas por la NOM-059-SEMARNAT-2010. De los 19 órdenes de aves, el orden Passeriformes presentó el mayor número de familias (11) y especies (27) en alguna categoría de endemismo, siendo las familias Emberizidae, Tyrannidae y Parulidae las mejor representadas (Fig. 14 y 15).

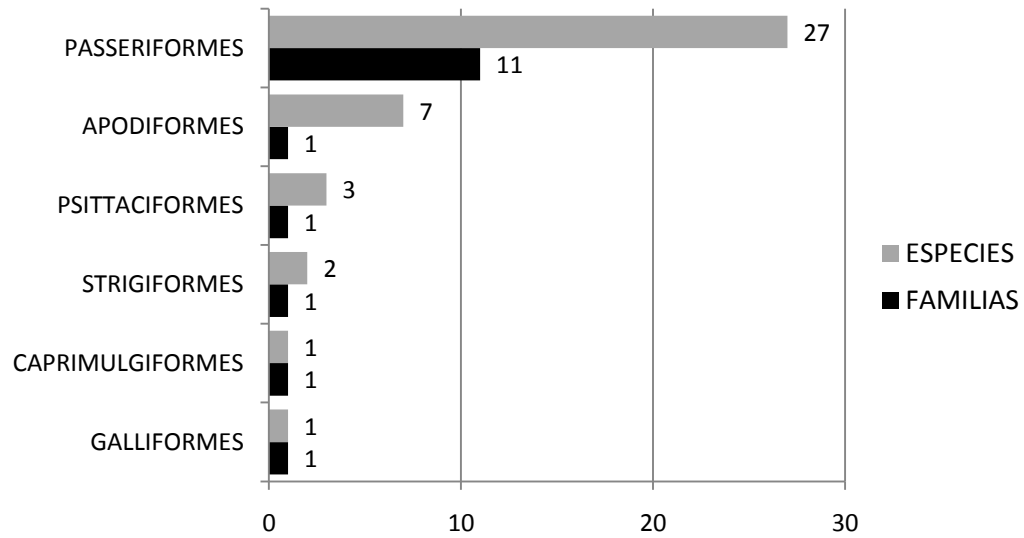


Figura 14. Número de familias y especies de aves agrupadas por orden en alguna categoría de endemismo.

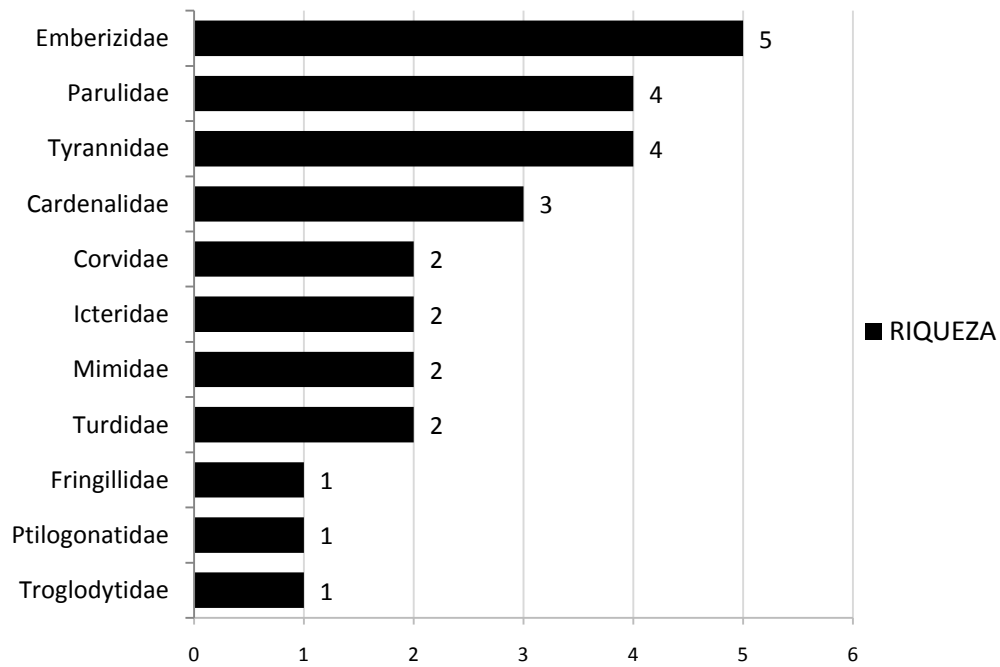


Figura 15. Familias del orden Passeriformes con especies de aves en alguna categoría de endemismo. Se señala el número de especies en cada familia.

De acuerdo con Howell y Webb (1995), la estacionalidad de la avifauna de la Sierra Madre Oriental potosina está dada de la siguiente manera: el 65.7% son especies residentes permanentes, el 14.3% son visitantes de invierno, el 5.3% son transitorias en el territorio, 2.2% son visitantes de verano y el 12.4% restante corresponde a 44 especies que comparten al menos dos de las categorías estacionales antes mencionadas, dentro de las que destacan 22 especies migratorias con poblaciones residentes en la región (Fig. 16). El orden con mayor número de especies residentes permanentes fue el orden Passeriformes con 128 especies comprendidas en 21 familias, principalmente en las familias Tyrannidae, Emberizidae e Icteridae. En la familia Parulidae, del orden Passeriformes, se reportó la mayor riqueza de aves visitantes de invierno (10 especies) y transitorias (7 especies), mientras que en la familia Tyrannidae se observaron 7 especies en más de una categoría estacional.

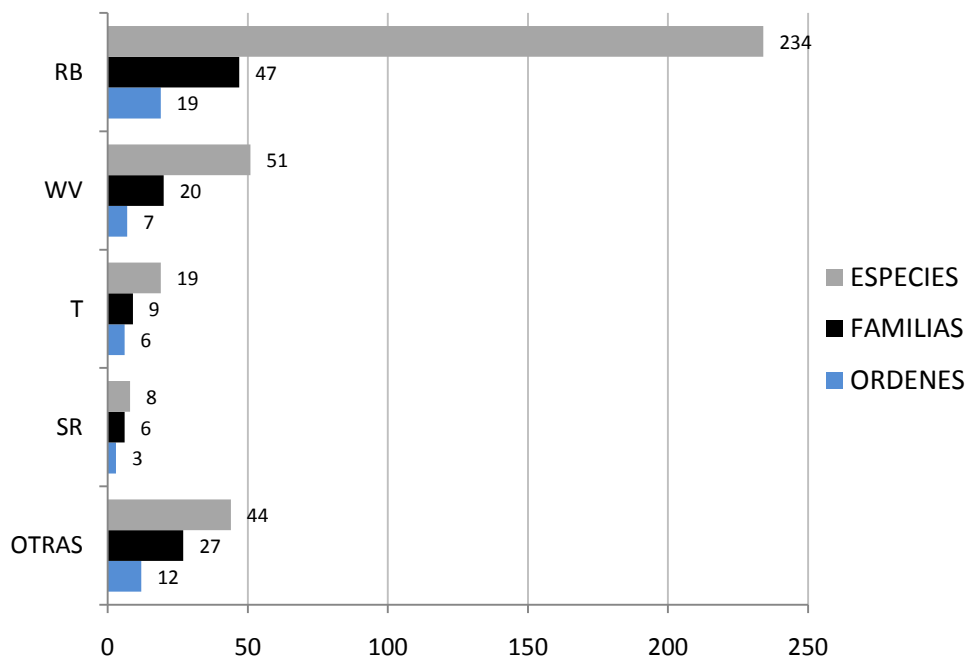


Figura 16. Estacionalidad de las aves de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí. Se expone el número de órdenes, familias y la riqueza de aves con respecto a las categorías estacionales de Howell y Webb (1995): residentes permanentes (RB), visitantes de invierno (WV), transitorias (T), visitantes de verano (SR) y las que se encuentran en dos o más categorías de las antes mencionadas (OTRAS).

La Figura 17 muestra la acumulación de la riqueza de aves a través del tiempo en la Sierra Madre Oriental potosina. De acuerdo con la agrupación de datos por décadas, se observa que el esfuerzo de muestreo no ha sido homogéneo en el transcurso del tiempo. Los primeros registros de aves almacenados en colecciones científicas datan de finales de la década de 1880's y 1890's (Nelson, 1899), sin embargo hay una escasez total de registros previamente y durante el movimiento de la Revolución Mexicana (1910's) y es a partir de 1920 cuando se retoma el interés sobre las aves de la zona alcanzando su punto máximo a finales de la década de 1950. Entre 1960 y 1990 se presentó un estancamiento en el esfuerzo de muestreo y estudios avifaunísticos, sin embargo, a partir de 1999 se retomó el interés por el conocimiento de la avifauna.

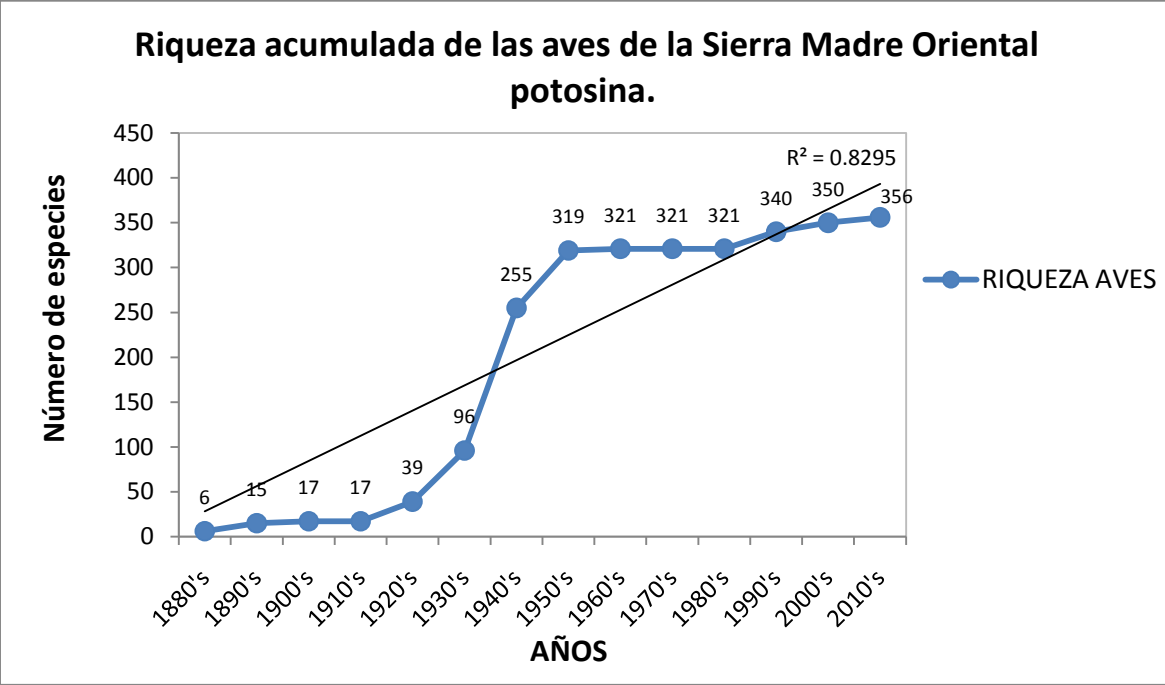


Figura 17. Curva de acumulación histórica del número de especies de aves presentes en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí. La línea representa el ajuste de regresión lineal que sugiere un incremento de la acumulación de riqueza de aves a través del tiempo.

7.3. Patrones de distribución espacial de la avifauna.

7.3.1. Distribución altitudinal de la avifauna

De acuerdo con los registros de aves y su correspondencia con la cartografía digital de intervalos altitudinales (hipsometría) se encontró que el mayor número de registros de aves se localiza en el intervalo de los 1000 a 1500 m de altitud con 2017 registros, es decir, el 41.2% de los registros totales en la zona de estudio (Fig. 18 y 19). El patrón general de la avifauna indicó mediante la regresión logarítmica una disminución de la riqueza total al aumentar la altitud (Fig. 20). La Figura 20 muestra el mayor número de especies en el intervalo altitudinal de los 200 a 500 m con 256 especies de aves y en el intervalo de 1000 a 1500 m con 255 especies (72 % de la riqueza total), mientras que en el intervalo de los 2000 a 2500 m sólo se obtuvo un registro correspondiente a una especie residente, *Nyctidromus albicollis*. De las 41 especies de aves que presentan alguna categoría de endemismo el 78% de éstas se encontraron en el intervalo altitudinal de los 1000 a 1500 m mientras que, en contraste, el intervalo altitudinal de los 0 a 200 m únicamente presentó dos especies en alguna categoría de endemismo: *Rhodothraupis celaeno* (endémico a México) y *Arremonops rufivirgatus* (cuasi endémico a México); las dos especies en peligro de extinción y endémicas a la Sierra Madre Oriental (*Glaucidium sanchezi* y *Dendrortyx barbatus*) están presentes desde los 200 a 1000 m, pero únicamente la codorniz-coluda veracruzana (*D. barbatus*), tiene posiblemente una distribución altitudinal hasta los 2000 m (Fig. 21). El intervalo altitudinal de los 1000 a 1500 m alberga a la mayor riqueza de aves migratorias con 81 especies (66.4 %) y sólo con una especie menos le sigue el intervalo de los 200 a 500 m el cual, a su vez, contiene a la mayor parte de aves residentes permanentes con 176 especies (75.3%) (Fig. 22).

Comparando los intervalos altitudinales contra la riqueza de especies bajo alguna categoría de riesgo, se encontró que en el intervalo altitudinal de 200 a 500 m hubo mayor riqueza de aves tanto en los estándares de la NOM-059-SEMARNAT-2010 como de la CITES con 37 y 42 especies, respectivamente (Fig. 23). El mayor número de especies vulnerables y en peligro de extinción, de acuerdo con la IUCN, se ubicó en el intervalo de los 1000 a 1500 m.

La prueba de Ji cuadrada (X^2), mostró que el valor de $X^2_{calculada}$ fue de 609.48 mientras que el valor de X^2_{tabla} fue de 12.59. Debido a que $X^2_{calculada} > X^2_{tabla}$ se aceptó la hipótesis alternativa (H_1) que establece que las proporciones de riqueza de aves en la Sierra Madre Oriental potosina dependen de los intervalos altitudinales.

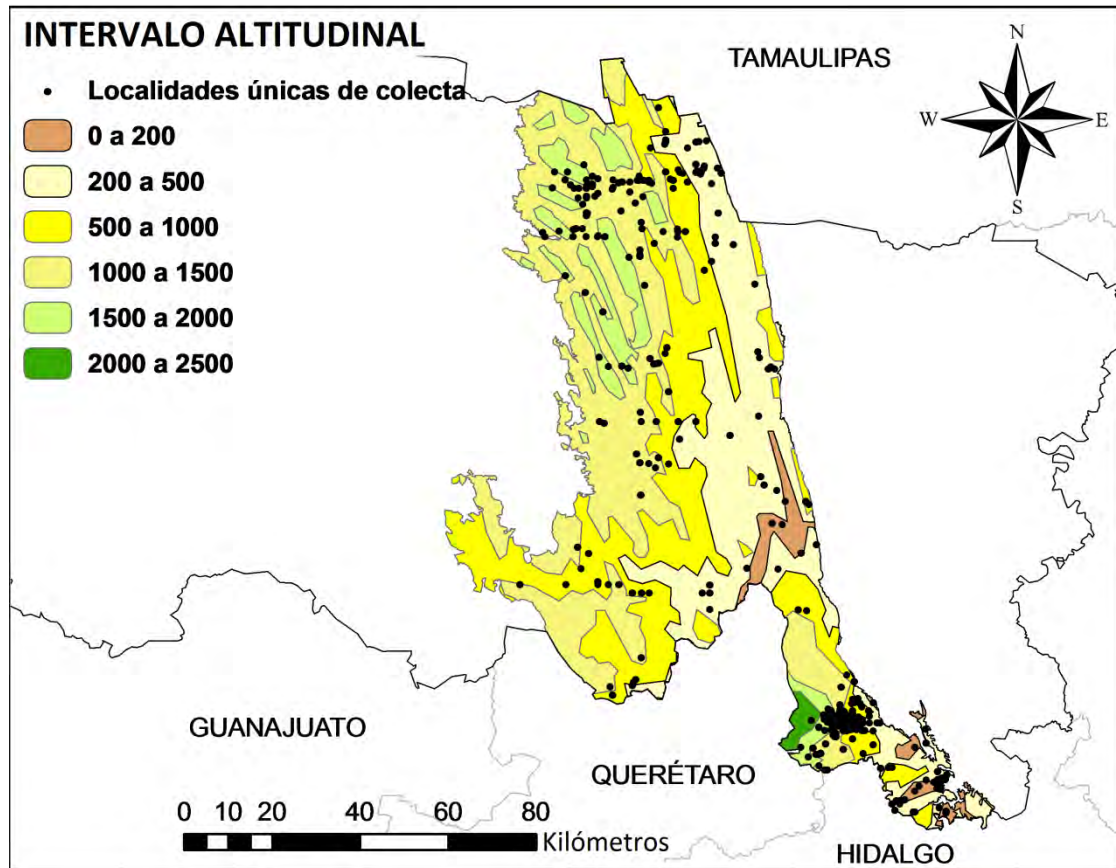


Figura 18. Mapa de intervalos altitudinales (msnm) en la Sierra Madre Oriental potosina. Se muestran las localidades únicas de registros de aves (puntos negros).

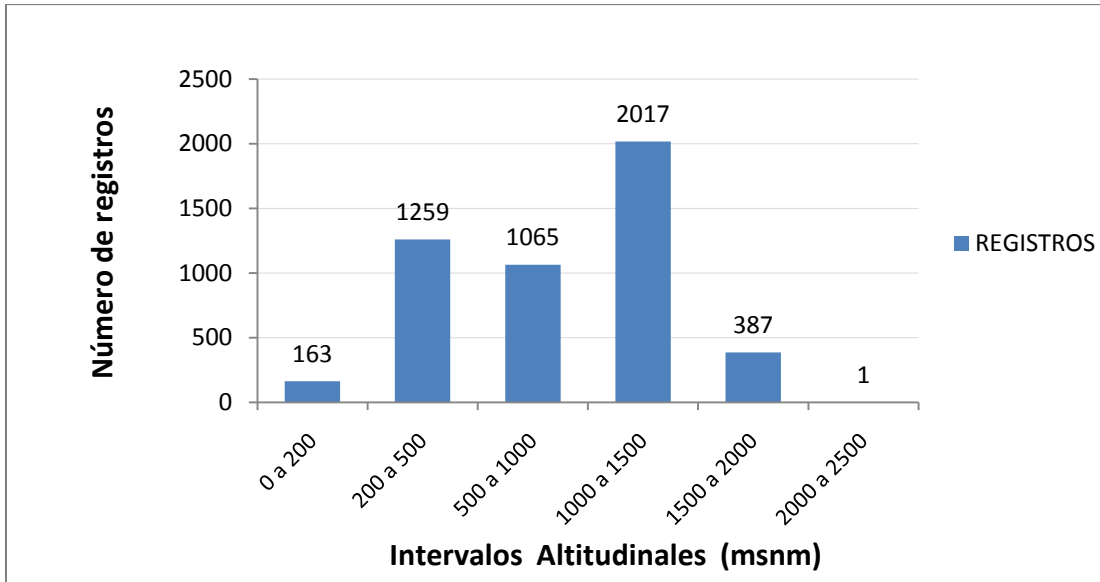


Figura 19. Número de registros de aves en relación a los intervalos altitudinales de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí.

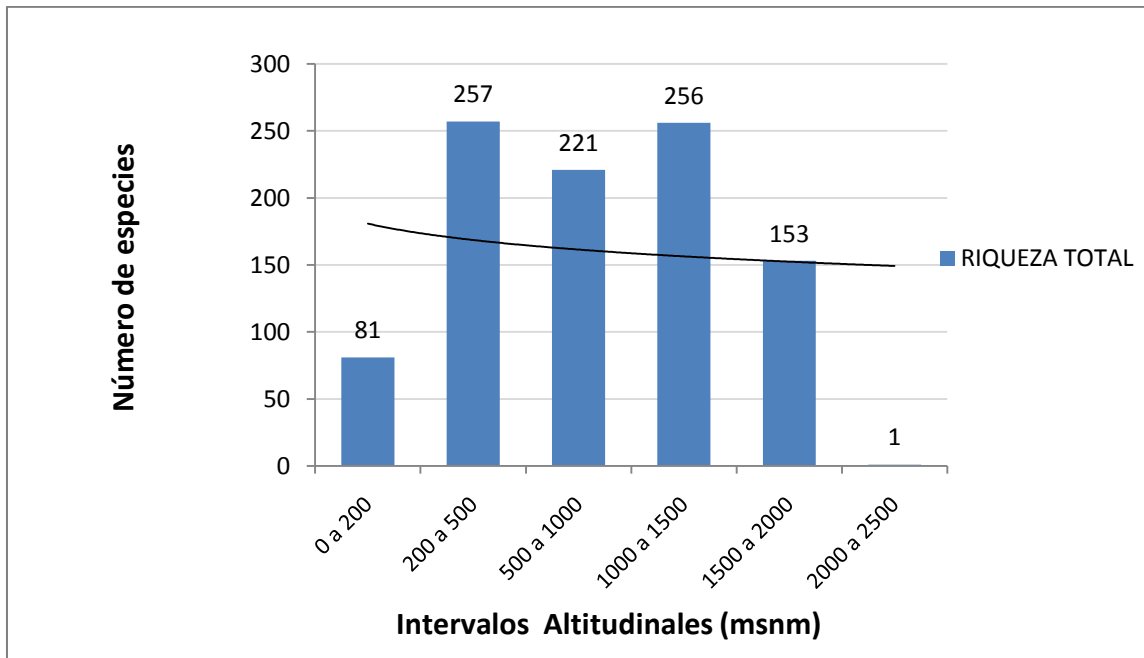


Figura 20. Correspondencia de los intervalos altitudinales y la riqueza total de aves de la Sierra Madre Oriental potosina. La curva representa el ajuste de regresión logarítmica e indica la disminución de la riqueza al aumentar altitud.

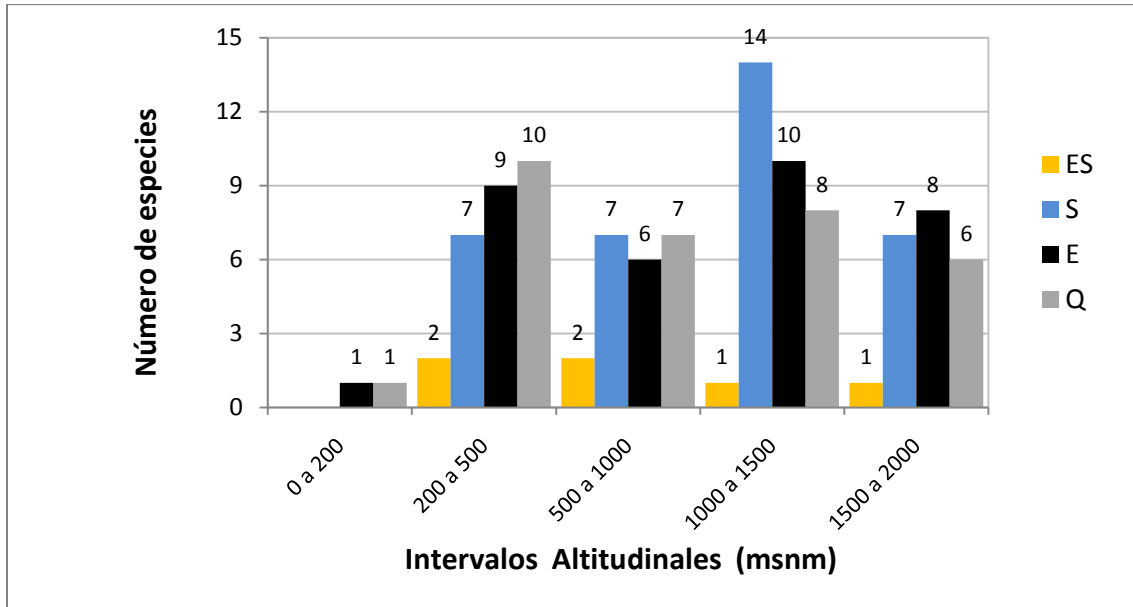


Figura 21. Relación del número de especies endémicas a México (E), cuasi endémicas a México (Q), semi endémicas a México (S) y endémicas a la Sierra Madre Oriental (ES) y los intervalos altitudinales de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí.

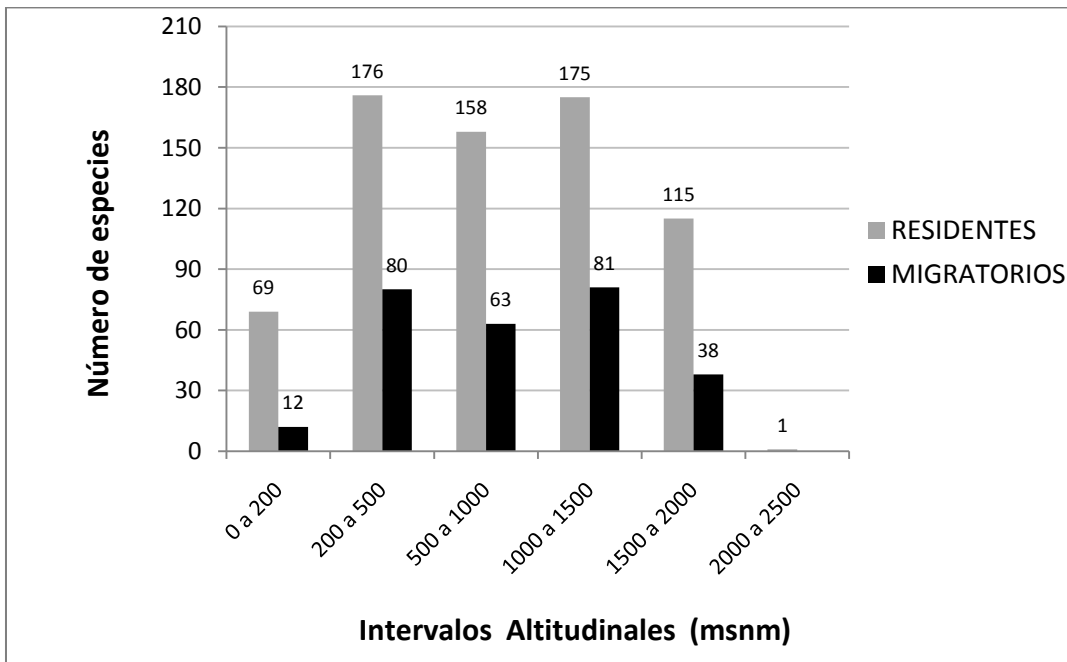


Figura 22. Relación de la riqueza de aves residentes permanentes y migratorias con respecto a los intervalos altitudinales de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí.

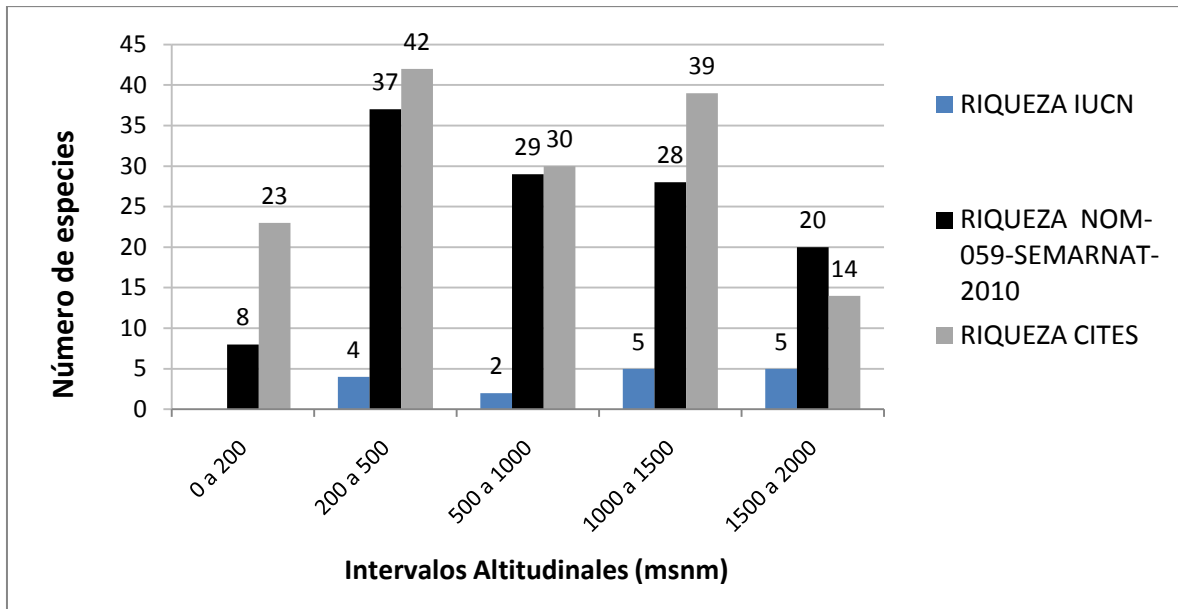


Figura 23. Relación de la riqueza de aves en riesgo bajo las categorías de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010), CITES y la IUCN con respecto a los intervalos altitudinales de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí.

7.3.2. Distribución de la avifauna en los tipos de vegetación y uso del suelo.

Las áreas cubiertas por bosque de encino presentó el mayor número de registros de aves (36.6%) (Fig. 24 y 25). En la Figura 25 se muestra la riqueza de aves por tipo de vegetación y sobresalen con la mayor riqueza las zonas aledañas a las actividades agrícolas y los bosques de encino con 229 (64.2%) y 226 especies (63.3%), respectivamente, mientras que en el total de localidades que han tenido una transformación general de su vegetación (vegetación perturbada) acumulan una riqueza histórica de 109 especies (30.5%); en la zona de palmar cercana a las cascadas de El Salto, Mpio. El Naranjo, únicamente se tiene reportada la presencia del vencejo gorgiblanco (*Aeronautes saxatalis*) y el halcón peregrino (*Falco peregrinus*), este último considerado como especie sujeta a protección especial por la NOM-059-SEMARNAT-2010 y en peligro de extinción por la CITES.

De acuerdo con las categorías de endemismo de la avifauna y su asociación a los tipos de vegetación, se determinó que en las zonas agrícolas está presente la mayor riqueza de aves con alguna categoría de endemismo al poseer 35 especies (72.9%) incluidas las dos especies endémicas (y en peligro de extinción) a la Sierra Madre Oriental (Fig. 26). De estas dos

especies, la codorniz-coluda veracruzana (*Dendrortyx barbatus*) también está presente en el bosque de pino-encino y la selva alta perennifolia, mientras que el tecolote tamaulipeco (*Glaucidium sanchezi*) tiene un único registro en un parche de selva alta perennifolia del municipio de Xilitla.

La Figura 27 muestra la riqueza de aves migratorias y residentes permanentes y su relación con los tipos de vegetación y uso del suelo. Al respecto, la mayor riqueza de aves residentes permanentes se presentó en las áreas agrícolas (156 especies) y en los bosques de encino (153 especies). De modo equivalente, en ambos tipos de vegetación está presente el mayor número de especies migratorias (73 especies cada uno); de las especies migratorias la mayoría (37 especies) resultaron ser migratorias de invierno. De los dos únicos registros reportados en la vegetación de palmar, el vencejo gorjiblanco (*Aeronautes saxatalis*) es residente permanente y el halcón peregrino (*Falco peregrinus*) resultó ser migratorio de invierno o residente (Howell y Webb, 1995).

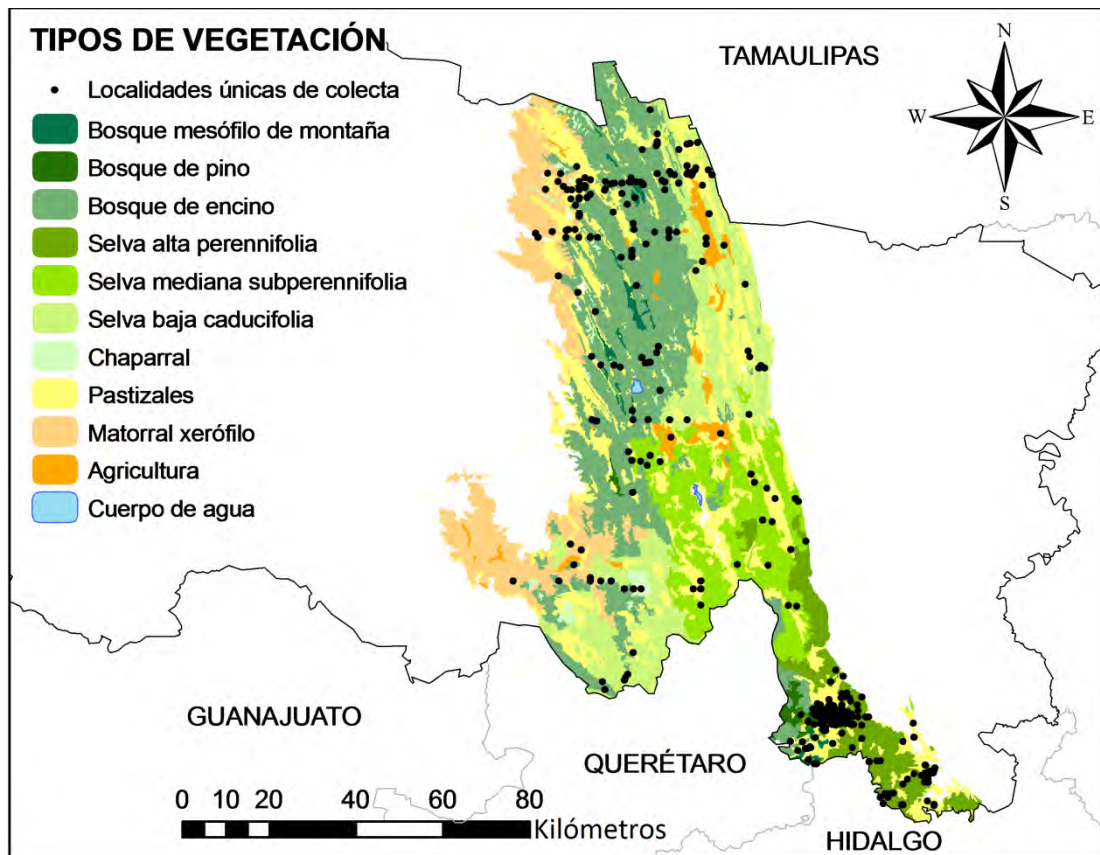


Figura 24. Tipos de vegetación en la Sierra Madre Oriental potosina. Los puntos negros hacen referencia a las localidades de colecta de registros de aves.

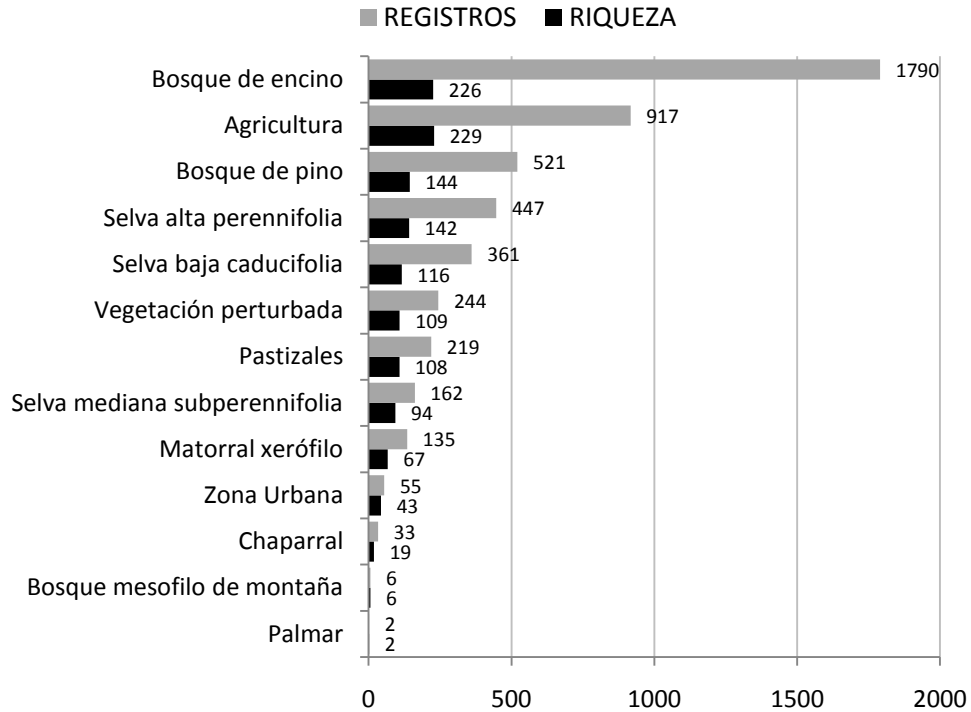


Figura 25. Número de registros y número de especies de aves por tipo de cobertura.

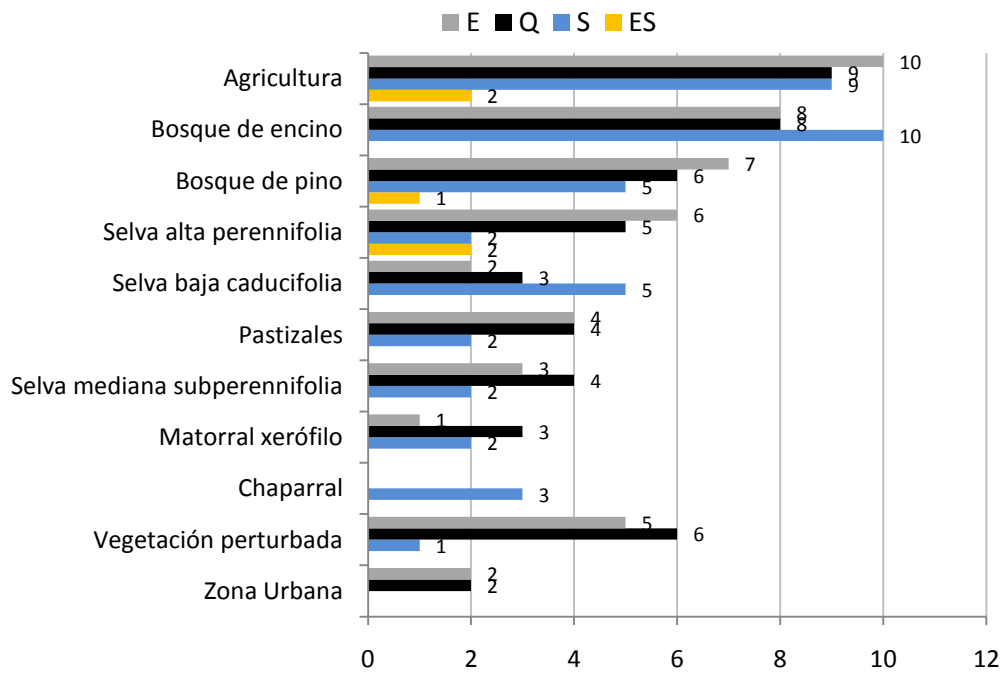


Figura 26. Número de especies endémicas a México (E), cuasi endémicas a México (Q), semi endémicas (S) y endémicas a la Sierra Madre Oriental (ES) con respecto a los tipos de cobertura.

Por otra parte, como resultado de la correspondencia de la riqueza de aves en alguna categoría de riesgo con respecto a los tipos de vegetación y uso del suelo (Fig. 28), se encontró que el mayor número de especies consideradas en los apéndices de CITES y la NOM-059-SEMARNAT-2010 está asociada a los sitios con actividades agrícolas y, de acuerdo con la IUCN, sólo los tres especies (*Amazona oratrix*, *A. viridigenalis* y *Dendrortyx barbatus*) estuvieron presentes en esta cobertura.

La mayor riqueza de aves bajo el esquema de la IUCN estuvo presente en el bosque de encino y bosque de pino con cuatro especies cada una. En el bosque de encino sobresalieron dos especies en peligro de extinción (*A. oratrix* y *A. viridigenalis*) y dos especies vulnerables (*Anthus spragueii*, *Ara militaris*). De manera similar, en el bosque de pino están reportadas cuatro especies (*A. viridigenalis*, *A. militaris*, *D. barbatus* y *Geothlypis flavovelata*) de las cuales *D. barbatus* y *A. viridigenalis* también están presentes en la selva alta perenifolia. Por otro lado, el loro tamaulipeco (*A. viridigenalis*) posee un único registro en la zona urbana cercana a Ciudad del Maíz, San Luis Potosí, mientras que, junto con la guacamaya verde (*A. militaris*) y el loro cabeza amarilla (*A. oratrix*) han sido reportados en algunas zonas perturbadas. Las especies mencionadas anteriormente también están consideradas en peligro de extinción bajo los estándares de la CITES. Según las categorías de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, los sitios agrícolas y bosque de encino presentaron el mayor número de especies con protección especial al contener trece especies en cada una de esas categorías; la riqueza máxima de especies en peligro de extinción también está presente en estos dos tipos de vegetación al poseer cinco especies.

Al contrastar la $X^2_{calculada}$ (914.54) y la X^2_{tabla} (22.35) se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la H_1 que señala que la riqueza de aves en la Sierra Madre Oriental potosina depende de los tipos de vegetación.

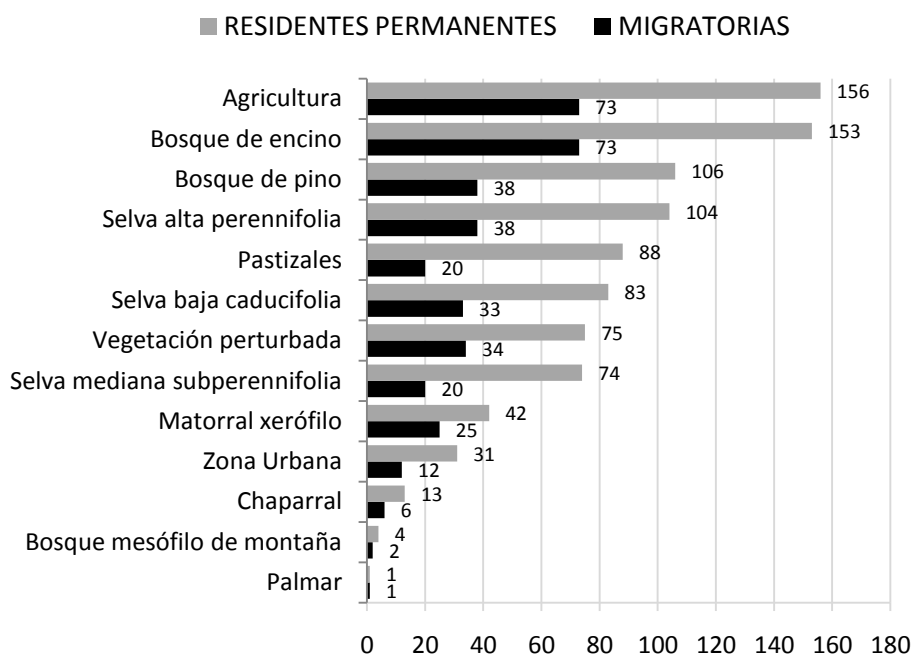


Figura 27. Riqueza estacional de las aves de la Sierra Madre Oriental con base en los tipos de cobertura.

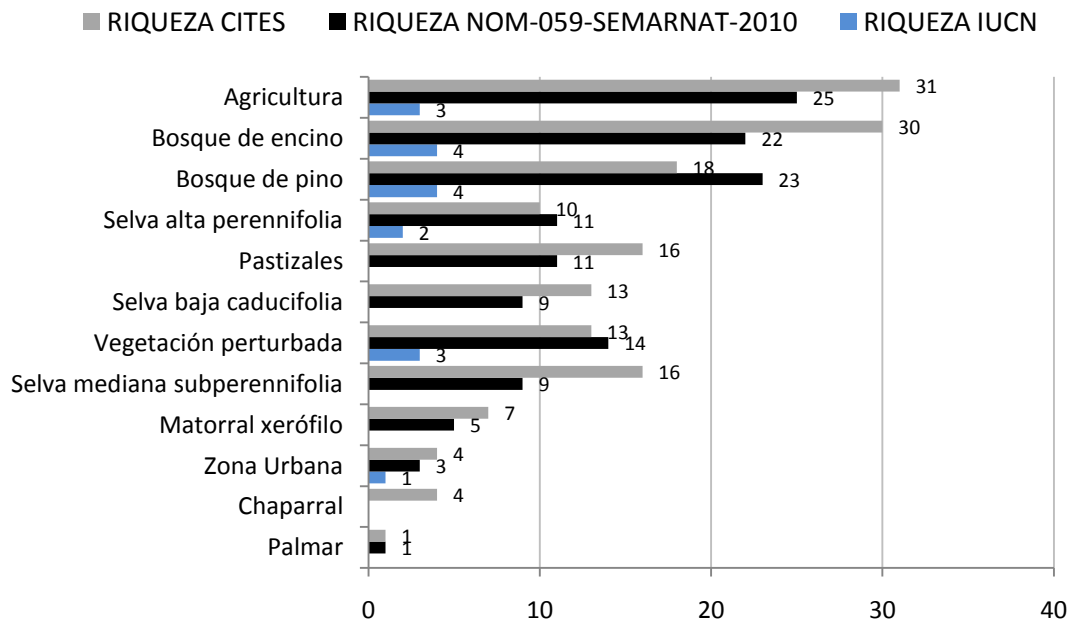


Figura 28. Relación de la riqueza de aves en riesgo bajo las categorías de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010), CITES y la IUCN con respecto a la vegetación y uso del suelo de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí.

7.4. Distribución potencial de la avifauna de la Sierra Madre Oriental potosina

Se generaron los modelos ecológicos de nicho para sólo 287 especies de aves, que corresponde al 80.3 % de la riqueza total. A partir de la evaluación de las curvas de respuesta de características del receptor (curva ROC) se obtuvo la precisión de los modelos de 191 especies y sólo en 83 de éstas los valores de precisión del modelo generado fueron superiores al 75% (Anexo 1). En las especies que no se generaron tanto los modelos ecológicos de nicho como la evaluación de precisión con las curvas ROC fue debido a la falta de registros (mínimo 5 distribuidos en localidades distintas) para implementarlos en el algoritmo Maxent.

Se determinaron las zonas potenciales para la riqueza total de aves y se encontró que los sitios con las condiciones ambientales idóneas para la presencia de la mayor riqueza se encuentra en el norte del municipio de Tamasopo de igual manera que en el oeste de El Naranjo y en la porción de la sierra de Xilitla y Tamazunchale con una predicción máxima de 131 especies. De modo contrario, en el oeste de Ciudad del Maíz y el sur de Tamasopo se ubicaron los sitios con menor predicción con aproximadamente 10 especies de aves (Fig. 29).

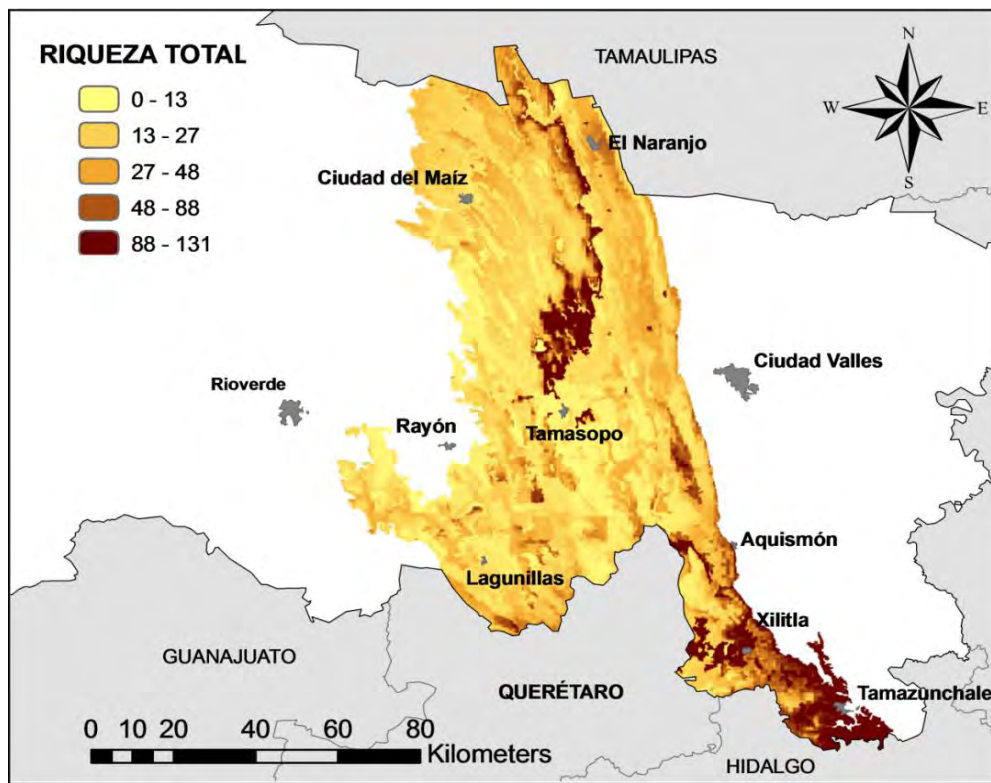


Figura 29. Mapa de distribución potencial de la riqueza total de aves de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí.

El mapa de distribución potencial de la riqueza de aves bajo alguna categoría de riesgo se generó a partir de la suma de 61 modelos ecológicos de nicho que representaron el 70.1 % de la riqueza total de aves (de 87 especies en total) bajo alguno de los estándares nacionales o internacionales de protección y como resultado de lo anterior, se encontraron las zonas viables para albergar un máximo de 24 especies. El patrón de este mapa hipotético es similar al mapa predictivo de la riqueza total de aves, sin embargo, sobresale un aumento de áreas apropiadas para la avifauna en riesgo en los alrededores del municipio de El Naranjo (Fig. 30).

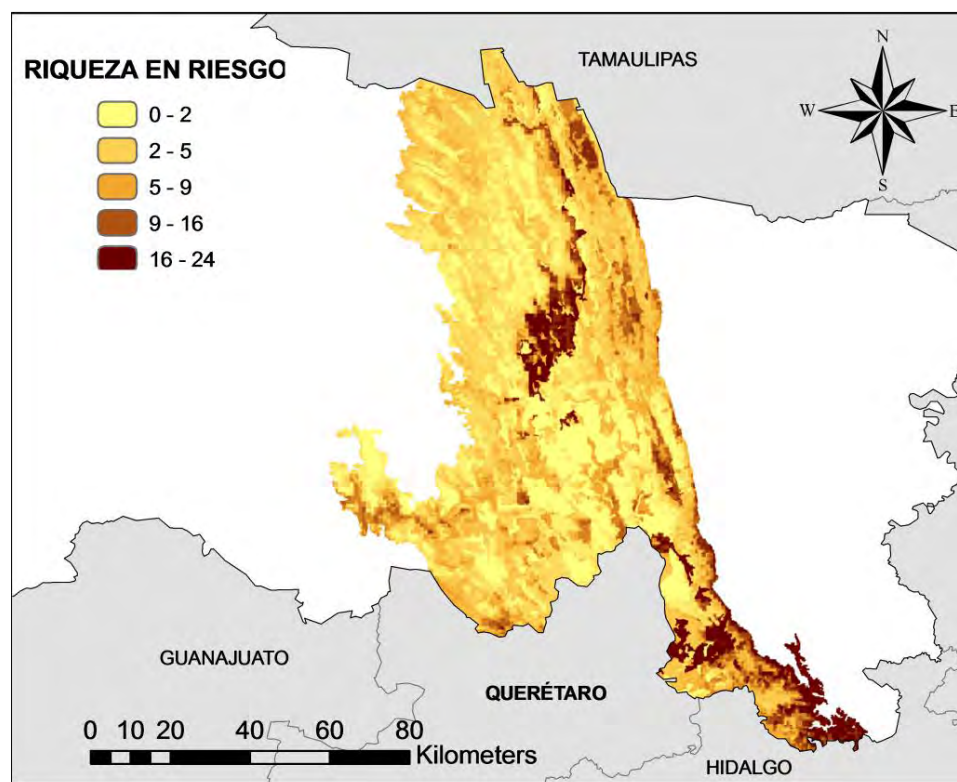


Figura 30. Mapa de distribución potencial de la riqueza de aves de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí bajo alguna categoría de riesgo (NOM-059-SEMARNAT-2010, CITES y IUCN).

El mapa de predicción de la riqueza de aves bajo alguna categoría de endemismo (Fig. 31), muestra que de las 41 especies bajo esta categoría sólo cuatro (*Empidonax wrightii*, *E. oberholseri*, *Ridgwayia pinicola*, *Geothlypis flavovelata*) carecieron del número de registros suficientes para la elaboración de sus modelos ecológicos de nicho y a partir de la suma de los modelos generados (37 especies) se consiguió identificar un patrón de mayor predicción

de nichos para la avifauna endémica en el límite colindante del suroeste de la zona de estudio y el estado de Querétaro, en la porción centro-noroeste de la sierra y, en menor área, en el sureste de la misma con los sitios óptimos para la presencia de hasta 14 especies bajo alguna categoría de endemismo.

Como resultado de la suma de los modelos ecológicos de nicho de 198 especies de un total de 234 especies residentes permanentes se elaboró el mapa de distribución potencial de la riqueza de aves residentes de la Sierra Madre Oriental potosina (Fig. 32). Se encontró que las zonas viables para la presencia de aves residentes permanentes son similares al patrón expuesto en el mapa de predicción de la riqueza total, no obstante, el mapa resultante para la riqueza residente se caracterizó por mostrar las zonas con condiciones adecuadas para la concentración máxima de 96 especies.

Por otra parte, considerando los modelos ecológicos de nicho de las especies migratorias con poblaciones residentes en la zona de estudio, se elaboró el mapa de la distribución potencial de las aves residentes totales (Fig. 33). Este mapa presentó un patrón similar al mapa de predicción de la riqueza de aves residentes permanentes. Sin embargo, el mapa hipotético de la distribución de la riqueza de aves residentes totales presentó los sitios con las condiciones ambientales necesarias para mantener una concentración mayor al mantener zonas para alrededor de 100 y 103 especies. El mapa de predicción de la riqueza de aves residentes totales se obtuvo con base en la adición de los modelos ecológicos de nicho de 18 especies de un total de 22 especies migratorias con poblaciones residentes en la Sierra Madre Oriental potosina; las especies *Aimophila cassinii*, *Falco peregrinus*, *Lanius ludovicianus* y *Turdus migratorius* no contaron con los registros suficientes para la elaboración de sus modelos de distribución potencial.

Finalmente, se obtuvo la distribución potencial de la riqueza de aves migratorias de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí al sumar los modelos ecológicos de nicho de 89 especies migratorias (73 %) de un total de 122. En el mapa resultante, la máxima concentración de sitios óptimos para la riqueza migratoria se concentró principalmente en la porción serrana de los municipios de Xilitla y Tamazunchale y en menor medida en la zona norte de Tamasopo y el este de la sierra (Fig. 34).

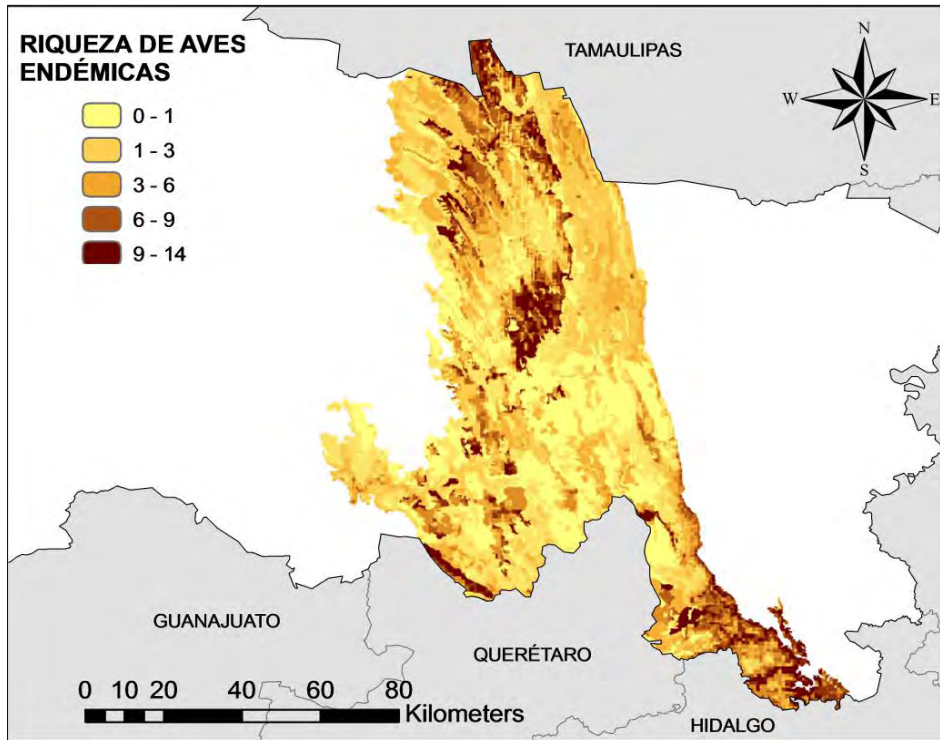


Figura 31. Mapa de distribución potencial de la avifauna de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí con alguna categoría de endemismo.

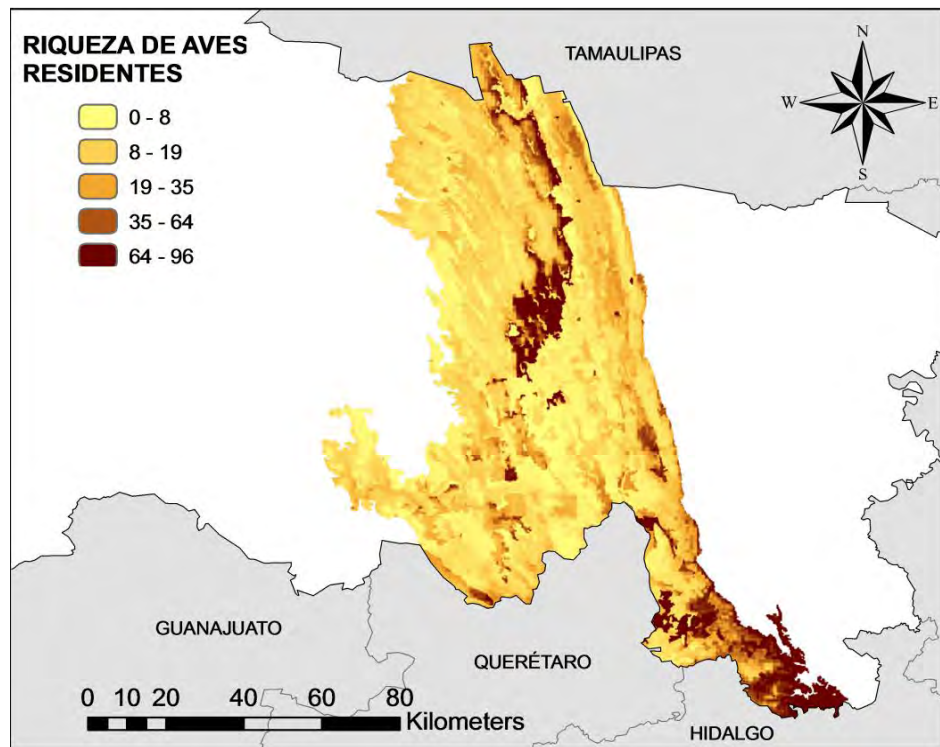


Figura 32. Mapa de distribución potencial de la riqueza de aves residentes permanentes de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí.

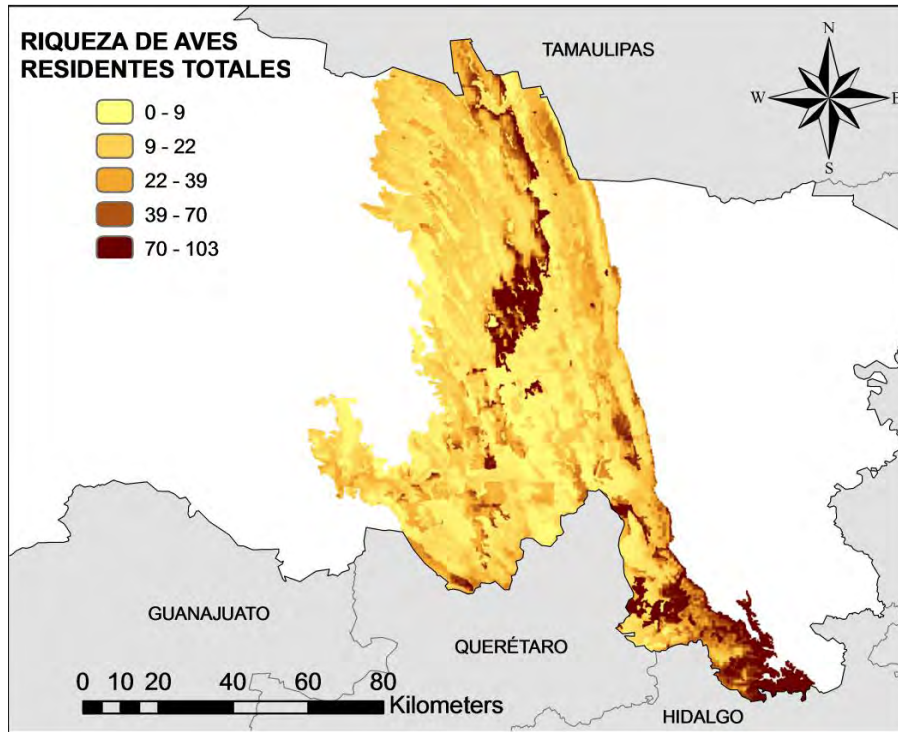


Figura 33. Mapa de distribución potencial de la riqueza de aves residentes totales de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí. Se incluyen la riqueza de aves migratorias con poblaciones residentes.

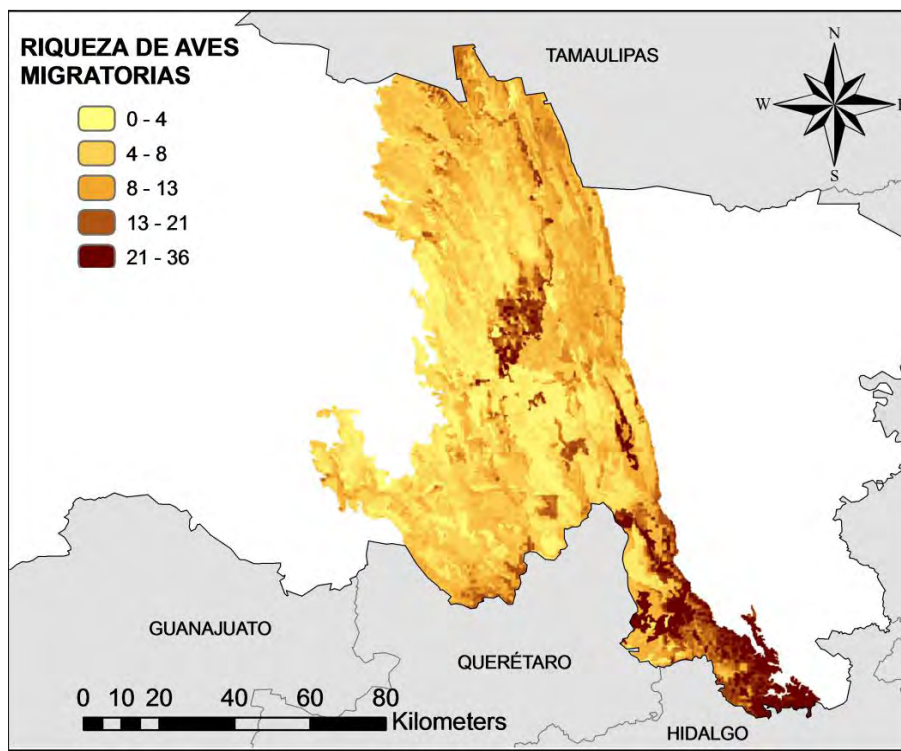


Figura 34. Mapa de distribución potencial de la riqueza de aves migratorias de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí.

7.5. Determinación de la avifauna en el paisaje fragmentado y en áreas de conservación.

En la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí existen cuatro áreas naturales protegidas (ANP) y un Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS). Basados en la correspondencia espacial de las AICAS y ANP con respecto al mapa de tendencias de la fragmentación del hábitat (Fig. 35) y los modelos de distribución potencial de la avifauna total y endémica (Fig. 36 y 37), se encontró que el AICA ubicada en San Nicolás de los Montes en el municipio de Tamasopo, se ajusta, en general, como un área con baja tendencia a la fragmentación del hábitat y que además presenta las condiciones ecológicas adecuadas para albergar a la mayor concentración de especies de aves en el ámbito de riqueza total, riqueza de aves endémicas y bajo alguna categoría de riesgo así como de residencia permanente y migratoria. A pesar de que se presentan patrones de baja fragmentación, la vegetación de ésta zona (bosques de encino y la selva mediana subperennifolia) exhibe una predisposición a la pérdida de superficie y un aumento en el número de parches, lo cual genera efectos de aislamiento de los fragmentos, aumento en la cantidad de borde y pérdida paulatina de poblaciones de aves mantenidas en estos sitios. El AICA de San Nicolás de los Montes, que cuenta con una superficie aproximada de 73,309 hectáreas (9.4 % de la superficie total) no posee protección oficial, por lo que enfocar la atención en la protección de ésta zona será relevante para la conservación de la elevada diversidad de aves de la región.

Por otra parte, las áreas naturales protegidas estatales de la Porción Boscosa de San Luis Potosí y los Monumentos Naturales “Sótano de las Golondrinas”, “La Hoya de las Huahuas” y “Cuevas de Mantetzulel” en el municipio de Aquismón, ocupan en conjunto aproximadamente el 3.8 % (30,587 ha) de la superficie total de la zona de estudio. En los alrededores de las ANP la concentración de la riqueza de especies residentes, migratorias, endémicas o bajo alguna categoría de riesgo es baja en comparación con las zonas que no poseen áreas destinadas para la conservación biológica, como es el caso del AICA de San Nicolás de los Montes y alrededores de los municipios de Xilitla y Tamazunchale, en donde, al igual que las ANP, los patrones de fragmentación del hábitat son bajos. Para éstos últimos, los datos multitemporales de cambios en el paisaje indican que hay una tendencia al

aislamiento de las coberturas naturales del terreno y la ganancia de espacios destinados a la agricultura y a la urbanización. Es por ello que al revelar patrones de aislamiento en la vegetación natural de las ANP, la transformación y fragmentación del hábitat repercutirá de manera negativa en la riqueza de aves, aunado a la pérdida paulatina de la función del sistema de áreas destinadas a la conservación biológica.

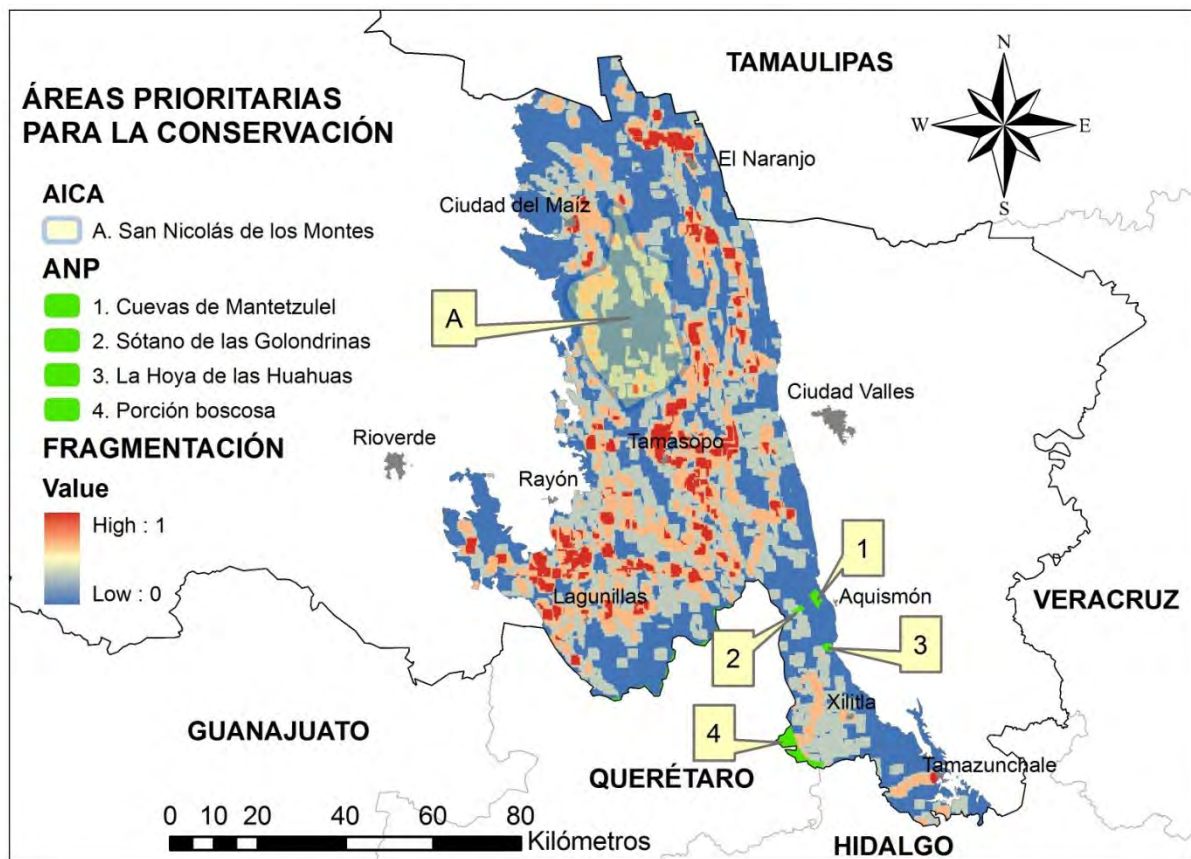


Figura 35. Correspondencia del mapa de fragmentación del hábitat con respecto a las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS) y las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de la Sierra Madre Oriental potosina.

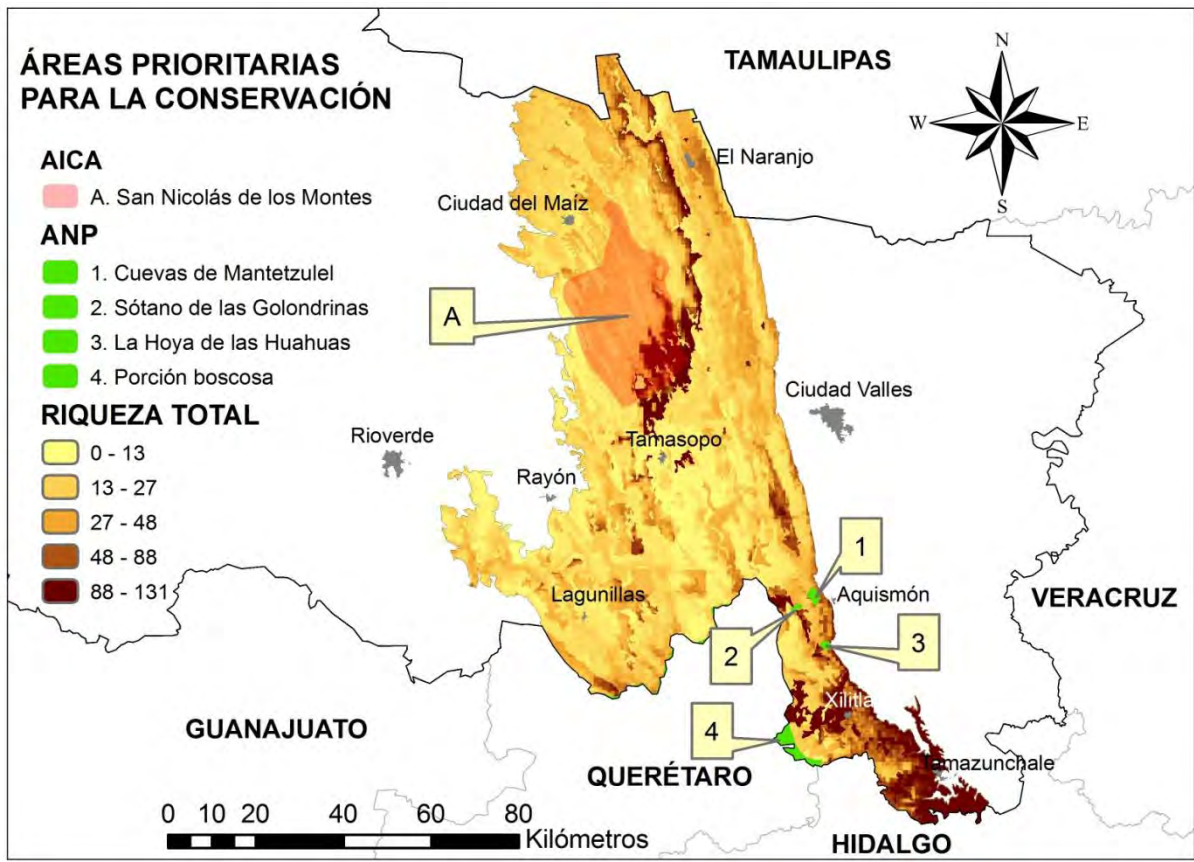


Figura 36. Correspondencia del mapa de distribución potencial de la riqueza total de aves con respecto a las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS) y las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de la Sierra Madre Oriental potosina.

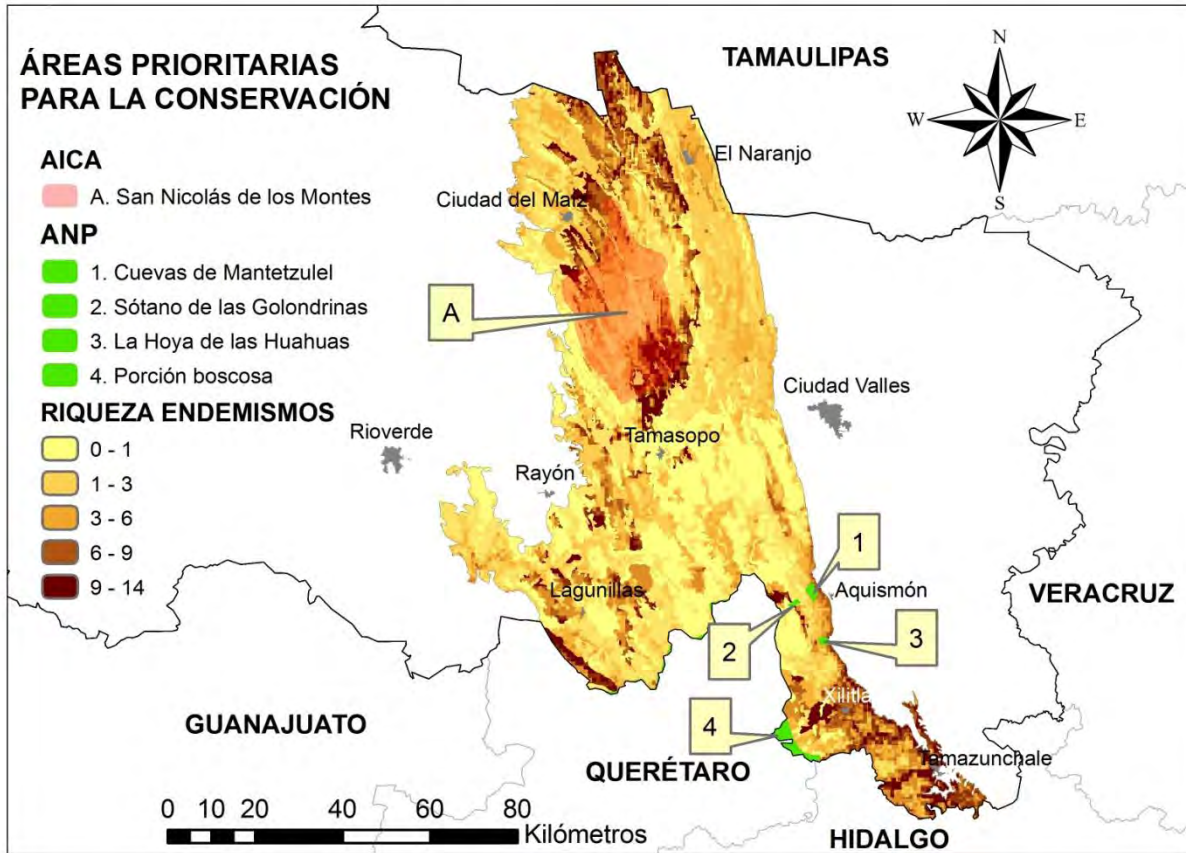


Figura 37. Correspondencia del mapa de distribución potencial de la avifauna de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí con alguna categoría de endemismo con respecto a las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS) y las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de la Sierra Madre Oriental potosina.

8. DISCUSIÓN

8.1. Procesos de fragmentación del hábitat en la Sierra Madre Oriental potosina

Estudiar las fases sucesivas de la fragmentación del hábitat mediante un análisis temporal, permite entender las implicaciones o magnitudes espacio-temporales de los cambios del paisaje en la biodiversidad (Fahrig, 2003). En este contexto, el análisis de la evolución del paisaje de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí reveló una mayor transformación de las cubiertas originales, en beneficio de las coberturas relacionadas con las actividades humanas (agricultura, pastizales, zonas urbanas y vegetación secundaria), similar a los patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México (Velázquez *et al.*, 2002) donde los procesos de cambio permiten reconocer la pérdida de vegetación nativa y la ganancia de espacios destinados para las actividades productivas y la urbanización (SEMARNAT, 2008).

Como se mencionó anteriormente, la fragmentación del hábitat se produce con relación a la pérdida de superficie y cambios en la composición y configuración de los parches o fragmentos. Al aumentar el número de parches y disminuir el tamaño promedio de las formaciones del suelo original, se exhibe una matriz paisajística fragmentada en la que hay una tendencia al aislamiento de las coberturas nativas y una conectividad en las coberturas que las sustituyen (Turner *et al.*, 2001). De acuerdo con esta información, el patrón anterior coincidió con el análisis temporal de la fragmentación del hábitat y los datos de las métricas evaluadas en este estudio, los cuales mostraron que las cubiertas de selvas, matorrales, cuerpos de agua y vegetación acuática tienden a fragmentarse mientras que las zonas destinadas a la agricultura, pastizales, zonas urbanas y vegetación secundaria tienden a conectarse.

De acuerdo con los valores del cálculo temporal de la distancia media del vecino más cercano (MNN), los bosques destacaron como el único tipo de cobertura no antrópica dentro del conjunto de coberturas con tendencia a la conectividad. No obstante, esto difiere con los datos obtenidos por las otras métricas del paisaje de la misma que indicaron una pérdida de superficie y el aumento de fragmentos de bosque, los cuales contradicen lo mencionado arriba. A pesar de la posible anomalía, la información de ambos datos no es errónea ya que al

comparar las coberturas de bosque de las distintas fechas, se pudo identificar de manera espacial que en la imagen satelital más antigua (1989) hay matrices dominadas por grandes extensiones de bosques que mantienen pocos espacios correspondientes a otras coberturas (principalmente áreas agrícolas y pastizales), de tal manera que a través de la imágenes posteriores (2000 y 2005) dichos espacios son reemplazados por bosques. El escenario anterior sugiere que posiblemente a través de ese intervalo de tiempo se ha presentado una tendencia a la conexión entre los bosques primarios a partir de la formación de bosques secundarios. Esto puede estar relacionado con algunos eventos pasados de alteración del medio que posiblemente no prosperaron, de modo que la modificación inducida por el hombre en la vegetación natural no implicó un remplazo en la misma (Begon *et al.*, 2006; SEMARNAT, 2008) por lo que en los últimos años se ha recuperado la vegetación en dichos mosaicos, mismos que se ubican en los alrededores de la zona media de la Sierra Madre Oriental. Por otro lado, el mismo análisis en el SIG permitió identificar una reducción y división de la vegetación en los sitios donde las matrices presentan remanentes de bosque y al mismo tiempo permanecen distantes de las grandes extensiones arbóreas, mismas que se localizan en la zona centro-sur de la Sierra Madre Oriental Potosina; los datos de las métricas revelaron que para esta zona la pérdida de superficie y aumento en la cantidad del borde son los más bajos, sin embargo, la reducción y fragmentación de dichos remanentes de bosque, en donde también predominan otros tipos de cobertura, es inminente.

El análisis temporal también reveló que las selvas y los matorrales son parte de las coberturas más afectadas en términos de pérdida de superficie y aumento de fragmentos. Estos atributos son particularmente importantes si se considera que las selvas y los matorrales son los ecosistemas que abrigan la mayor parte de la biodiversidad del país y, en particular, los matorrales concentran una gran cantidad de especies endémicas (SEMARNAT, 2008) por lo que el proceso de fragmentación puede afectar directamente a las poblaciones de especies únicas presentes en estos ecosistemas.

Aunque la fragmentación del hábitat se manifiesta en distintas escalas espaciales y temporales hay aceptación en que al aumentar la fragmentación de un ecosistema también aumenta el riesgo de extinciones locales debido al creciente *efecto de borde* (aumento de temperatura, disminución de humedad, aumento de luz), que en la mayoría de las veces

afecta a la producción de recursos contribuyendo a la pérdida progresiva de especies (Saunders *et al.*, 1991). Particularmente, en el caso de las aves está documentado que las especies generalistas o características de áreas abiertas se benefician de estos procesos (Newton, 1998; Cárdenas *et al.*, 2003; Arriaga-Weiss *et al.*, 2008). En contraste, las especies que se encuentran en el interior de los parches dejan de ocurrir gradualmente en proporción a la pérdida del hábitat. En este sentido, con base en los indicadores de susceptibilidad de las aves neotropicales al cambio en el tipo de hábitat y condiciones ambientales (Stotz *et al.*, 1996), es posible deducir efectos negativos para algunas especies que presentan una susceptibilidad media a elevada por la perturbación del medio en el que ocurren. De acuerdo con lo anterior, al comparar la riqueza encontrada en el presente estudio con respecto a los indicadores de susceptibilidad, se estima que 70 especies de aves (19.7 % del total), que en la mayoría corresponde a especies bajo alguna categoría de endemismo y/o categoría de riesgo, pueden ser mermadas por la fragmentación del hábitat (cuadro 7).

Bajo estos efectos, es posible que de continuar el proceso de fragmentación en la Sierra Madre Oriental, el panorama para la conservación de estas especies no será positivo. Las presiones afectan a todas las especies, pero especialmente a aquellas cuyos rangos de distribución son restringidos. Por lo tanto, la elaboración de estudios futuros a una escala menor relacionados con la diversidad, dinámica y monitoreo poblacional de la avifauna serán relevantes para conocer el estado y las fluctuaciones de las abundancias de las poblaciones de aves con respecto a los cambios en la estructura de la vegetación de la zona.

CUADRO 7. Especies de aves con susceptibilidad media a elevada por la fragmentación del hábitat. Se consideran especies en alguna categoría de endemismo o categoría de riesgo. Basado en los indicadores de susceptibilidad de la avifauna propuestos por Stotz *et al.* (1996).

<i>Accipiter bicolor</i>	<i>Catharus mexicanus</i>	<i>Melanotis caerulescens</i>
<i>Accipiter cooperii</i>	<i>Catharus occidentalis</i>	<i>Meleagris gallopavo</i>
<i>Amazilia candida</i>	<i>Ciccaba virgata</i>	<i>Micrastur ruficollis</i>
<i>Amazilia cyanocephala</i>	<i>Coccothraustes abeillei</i>	<i>Micrastur semitorquatus</i>
<i>Amazona autumnalis</i>	<i>Crax rubra</i>	<i>Micrathene whitneyi</i>
<i>Amazona oratrix</i>	<i>Cyanolyca cucullata</i>	<i>Myadestes unicolor</i>
<i>Amazona viridigenalis</i>	<i>Cyrtonyx montezumae</i>	<i>Passerculus sandwichensis</i>

<i>Anthus spragueii</i>	<i>Dactylortyx thoracicus</i>	<i>Penelope purpurascens</i>
<i>Aphelocoma ultramarina</i>	<i>Dendrortyx barbatus</i>	<i>Pheucticus melanocephalus</i>
<i>Ara militaris</i>	<i>Eugenes fulgens</i>	<i>Pionus senilis</i>
<i>Aratinga holochlora</i>	<i>Falco peregrinus</i>	<i>Ptilogonys cinereus</i>
<i>Arremonops rufivirgatus</i>	<i>Geothlypis flavovelata</i>	<i>Ramphastos sulfuratus</i>
<i>Atlapetes albinucha</i>	<i>Geothlypis nelsoni</i>	<i>Regulus calendula</i>
<i>Atlapetes pileatus</i>	<i>Geotrygon albifacies</i>	<i>Ridgwayia pinicola</i>
<i>Atthis heloisa</i>	<i>Glaucidium gnoma</i>	<i>Selasphorus platycercus</i>
<i>Automolus rubiginosus</i>	<i>Hylocharis leucotis</i>	<i>Spizaetus ornatus</i>
<i>Buteo platypterus</i>	<i>Icterus graduacauda</i>	<i>Tachybaptus dominicus</i>
<i>Buteogallus anthracinus</i>	<i>Icterus parisorum</i>	<i>Tigrisoma mexicanum</i>
<i>Calothorax Lucifer</i>	<i>Ictinia plumbea</i>	<i>Trogon collaris</i>
<i>Campephilus guatemalensis</i>	<i>Junco phaeonotus</i>	<i>Turdus infuscatus</i>
<i>Campylopterus curvipennis</i>	<i>Lampornis amethystinus</i>	<i>Tyrannus vociferans</i>
<i>Campylorhynchus gularis</i>	<i>Lampornis clemenciae</i>	<i>Xiphocolaptes promeropirhynchus</i>
<i>Caprimulgus salvini</i>	<i>Megascops guatemalae</i>	
<i>Catharus frantzii</i>	<i>Megascops trichopsis</i>	

8.2. Composición de la avifauna de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí

Históricamente, los extremos norte y sureste de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí, específicamente en la región de El Naranjo, Xilitla y Tamazunchale, han destacado de manera importante en el aspecto cultural así como por el uso y aprovechamiento de los recursos naturales, comercio, agricultura, turismo, entre otros (INEGI, 2002; Hernández-Ramos, 2009). En este contexto, el interés por el conocimiento de las aves también es un reflejo de ello ya que, con base en los datos primarios de presencia de las aves y la literatura, se identificó la mayor concentración de localidades con registros de la avifauna en los alrededores de esos municipios, mismos en los que desde mediados del siglo pasado se realizaron estudios ornitológicos sobresalientes. Destacaron los estudios de Sutton y Burleigh (1940a; 1940b) Lowery y Newman (1949; 1951), Davis (1952) y Sutton (1955), quienes contribuyeron de manera importante en la descripción y conocimiento de las aves de la región. No obstante, las contribuciones en los años posteriores se realizaron de manera aislada tanto temporal como espacialmente sobre todo en la zona media y en la mayor parte de los municipios del centro-sur y suroeste (Santa Catarina, Aquismón y Lagunillas), mismos en los que se encontró un menor número de registros.

En el estado de San Luis Potosí, la porción de la Sierra Madre Oriental sobresale por poseer el mayor esfuerzo de muestreo (Vargas-Canales, 2006); este dato también coincide con algunos trabajos ornitológicos de otras entidades colindantes, como Querétaro e Hidalgo, en donde señalan que el área ocupada por la sierra tiene el mayor número de registros y riqueza de aves (Sahagún-Sánchez, 2003; De la Barreda-Bautista, 2006). Sin duda, en la presente investigación se evidenció que el conocimiento de las aves (y posiblemente en otros taxones) ha estado sesgado a través del tiempo por la falta de estudios e inventarios biológicos en lugares poco explorados (Fig. 7 y 17). Probablemente lo anterior se debe a los elementos mencionados al inicio, sumado a medios que limitan el acceso a algunos lugares para su estudio tales como las pocas vías de comunicación, condiciones abruptas del relieve, permisos, recursos económicos y humanos, entre otros. A pesar de eso, la Sierra Madre Oriental es la principal zona de interés avifaunística en el estado de San Luis Potosí, por lo que el entendimiento sobre algunos aspectos de la composición y patrones de distribución (como los que se discuten a continuación) contribuirán de manera importante para su protección.

Con base en el resultado de la acumulación de información histórica y datos recientes, en este estudio se reunió una riqueza de 356 especies de aves para la Sierra Madre Oriental potosina, que corresponde al 73 % de las especies presentes en el estado de San Luis Potosí (Sánchez-González y García-Trejo, 2010) y al 32.8 % del total de especies en el país (AOU, 1998 y suplementos 2000-2010). Esto confirma que la diversidad de aves en la región de la Sierra Madre Oriental potosina es elevada ya que casi una tercera parte de la riqueza de aves de todo México se concentra en tan solo el 0.39 % de la superficie total del país.

Si bien, la combinación de factores ecológicos e históricos ha posibilitado la presencia de una elevada riqueza de aves, el caso del endemismo no es la excepción. Si se compara la relación de endemismos de aves presente en la zona de estudio con otras zonas montañosas del país se aprecia que los valores también son elevados, por ejemplo, Argote-Bernal (2002) menciona que en la Sierra de Huautla, Morelos hay al menos 20 especies con alguna categoría de endemismo; Medina-Macias *et al.* (2010) reportó para la Sierra del Espinazo del Diablo (Sinaloa-Durango) la presencia de 43 especies endémicas. Aunque estos datos son interesantes, la información debe tomarse con cautela debido a que el tamaño y otros

atributos de las áreas estudiadas son distintos. Entre las especies endémicas presentes en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí sobresalen algunas de distribución restringida a México como *Rhodothraupis celaneo*, *Aratinga holochlora*, *Geothlypis flavovelata* y *Atlapetes pileatus*, mientras que en una escala menor, dos especies endémicas presentan una distribución restringida a la región Sierra Madre Oriental: el tecolote tamaulipeco (*Glaucidium sanchezi*) y la codorniz-coluda veracruzana (*Dendrortyx barbatus*), ambas protegidas por la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010).

Considerando la estacionalidad de la avifauna, los resultados mostraron que la mayor parte de la riqueza correspondió a la categoría de aves residentes permanentes (234 especies) y, de acuerdo con los esquemas nacionales e internacionales de protección (DOF, 2002; CITES, 2009; IUCN, 2009), alrededor de una cuarta parte de éstas se encuentra en alguna categoría de riesgo. Algunos psitácidos como *Ara militaris*, *Amazona viridigenalis*, *Amazona oratrix*, y *Pionus senilis*, además de algunos representantes del orden Falconiformes, Strigiformes y Galliformes, se caracterizaron por ser los más amenazados o estar en peligro de extinción. De modo similar, de las 122 especies migratorias, 21 están en alguna categoría de riesgo entre las que se encuentran Apodiformes, Falconiformes y Passeriformes así como un único representante de las aves acuáticas: *Ardea herodias*.

De la riqueza total, siete especies (*Buteo platypterus*, *Cardellina rubrifrons*, *Dendroica petechia*, *Elanus leucurus*, *Psarocolius montezuma*, *Nyctibius griseus* y *Vireo flavifrons*) no contaron con un ejemplar de referencia en alguna colección científica y no están confirmadas en la literatura para la zona de estudio. Sin embargo, fueron incluidas en la lista final por ser parte del producto de trabajo de campo realizado por personal del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias de la UNAM (MZFC), quienes recientemente obtuvieron algunos registros visuales de dichas especies en la región (MZFC, datos no publicados; Sánchez-González, com. pers.). De acuerdo con información de bases de datos en línea (AverAves, <http://www.conabio.gob.mx>) y datos actualizados del Atlas de las aves de México (Navarro-Sigüenza com. pers.), cinco de las siete especies (*B. platypterus*, *E. leucurus*, *N. griseus*, *P. montezuma*, *V. flavifrons*) han sido observadas en los últimos 20 años en la zona de estudio mientras que el resto (*C. rubrifrons* y *D. petechia*) se ha colectado en sitios aledaños a la sierra. La distribución de éstas especies se considera factible (Howell y

Webb, 1995; Ridgely *et al.*, 2007) debido a que algunas (*B. platypterus*, *D. petechia* y *V. flavifrons*) tienen una estacionalidad migratoria, por lo que posiblemente su ocurrencia en el territorio es temporal o transitoria, mientras que otras (*C. rubrifrons*, *E. leucurus* y *P. montezuma*) han sido colectadas y reportadas en sitios cercanos y con condiciones ambientales similares al examinado como, por ejemplo, en la Sierra Gorda, Querétaro (González-Salazar, 2001; Sahagún-Sánchez, 2003).

De manera extraordinaria, a pesar de contar con respaldo de colecta, dos especies consideradas residentes (*Amazilia beryllina* y *Momotus mexicanus*) y una transitoria (*Micrathene whitneyi*) no están reportadas en la literatura para la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí. De éstas, *A. beryllina* y *M. whitneyi* están confirmadas para la porción de la Sierra Madre Oriental circunscrita a Hidalgo, Querétaro y Veracruz (González-Salazar, 2001; Navarro *et al.*, 2004) por lo que su ocurrencia en el territorio potosino posiblemente esté vinculada a factores históricos, cercanía y características ambientales que posibilitan la presencia de las especies. En relación a el pájaro raqueta o pájaro péndulo (*Momotus mexicanus*) éste tiene una distribución histórica en el oeste del país y en parte de la Faja Volcánica Transmexicana (Peterson y Chalif, 1989; Howell y Webb, 1995), por lo que su registro en la Sierra Madre Oriental potosina (ejemplar depositado en Laboratory Ornithology, Cornell University, E.U.A.) indicaría una ampliación en su distribución en el noreste de México o su presencia se cuestionaría en la actualidad. Dado lo anterior, un mayor esfuerzo de muestreo asociado a la colecta de especímenes de referencia de las especies mencionadas en estas líneas, permitiría corroborar, evidenciar o rechazar su ocurrencia en la Sierra Madre Oriental potosina y, en caso de ser infalible, la información sería valiosa para el conocimiento de sus hábitos, distribución, filogenia, entre otros.

También, a partir de una revisión bibliográfica se encontró que para el estado de San Luis Potosí existe información relevante respecto a los registros más recientes del mielero pata-roja (*Cyanerpes cyaneus*) y el chipe de montaña (*Myioborus miniatus*). El mielero pata-roja es un ave migratoria que se distribuye en la vertiente del Golfo de México, desde las tierras bajas de San Luis Potosí y Veracruz, hasta el Amazonas en Brasil (Howell y Webb, 1995; Ridgely *et al.*, 2007). Para el estado de San Luis Potosí, el registro más reciente reportado de esta especie data de 1951 (Davis, 1952). Recientemente (2010), se colectaron

los primeros registros formales de *C. cyaneus* en la porción central de la Sierra Madre Oriental potosina, los cuales proporcionan información relevante sobre la preferencia de su hábitat y de la ampliación de la distribución de la especie en el noreste de México (Castro-Navarro y Sahagún-Sánchez, en Prep.). En cuanto al chipe de montaña, se encontró que los primeros registros de ésta especie residente fueron tomados en el Altiplano potosino en 1923 (Lowery y Newman, 1951) y hasta 1951 se reconoció su presencia en la zona de Xilitla (Lowery y Newman, 1951; Davis, 1952). A pesar de lo anterior, se percibió que trabajos recientes omiten la ocurrencia de *M. miniatus* en la región de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí (Navarro *et al.*, 2004; Vargas-Canales, 2006), sin embargo, en 2005 se colectó un espécimen en La Victoria, Xilitla (MZFC, datos no publicados; Sánchez-González, com. Pers.), el cual confirma la presencia de la especie en esta zona serrana del estado. Por lo antes expuesto, y con el objeto de tener datos que indiquen la presencia o ausencia real de las especies se sugiere llevar a cabo estudios básicos de campo de manera sistemática, ya que es un recurso imprescindible para vislumbrar más sobre el estado de conservación de la diversidad biológica que a su vez daría la posibilidad de proveer elementos suficientes para investigaciones futuras y la gestión posterior de los recursos.

Por otra parte, se identificó que los valores de riqueza total obtenida en este estudio mostraron diferencias con respecto a los valores reportados anteriormente por Navarro *et al.* (2004) y Vargas-Canales (2006), quienes determinaron 377 y 343 especies, respectivamente. Para diagnosticar la posibilidad de que las diferencias estuvieran asociadas al concepto de especie usado en los distintos estudios, se homologó la propuesta taxonómica de la A.O.U. (concepto biológico de especie; 1998 y adendas 2000-2010) –utilizado en la presente investigación– con respecto a la propuesta taxonómica alternativa para las especies mexicanas (Navarro-Sigüenza y Peterson, 2004), que se empleó en los estudios antes mencionados y que se basa en el concepto filogenético-evolutivo de especie. Como resultado de ello sólo se identificaron cambios en la nomenclatura más no en la riqueza, por lo que, bajo un criterio taxonómico no hay un cambio en el estatus o en la diversidad de especies dentro de la zona de estudio. Sin embargo, si se considera que las especies no reportadas en la literatura aumentan los valores de riqueza estimada por Vargas-Canales (2006), por otra parte también se aprecian cambios al comparar los sistemas de regionalización empleados en los trabajos previos y en el presente. Navarro *et al.* (2004) usaron un consenso de sistemas (Provincias

biogeográficas de México y Provincias bióticas de México), que presentó mayor área y a su vez más registros y riqueza en relación a la superficie de la regionalización utilizada en la presente investigación y por el otro autor, quien sólo usó un sistema (Provincias biogeográficas de México). De manera interesante, algunas especies reportadas por Navarro *et al.* (2004), y que no fueron incluidas en la lista de este estudio, tienen ocurrencia real y potencial en el Altiplano potosino (*e.g.* *Auriparus flaviceps*, *Buteo albonotatus*, *Petrochelidon fulva* y *Peucedramus taeniatus*) o en la vertiente del Golfo de México (*e.g.*, *Buteogallus uribitinga*) (Howell y Webb, 1995, Ridgely *et al.*, 2007), por lo que su exclusión en el área de estudio de la presente investigación coincide con que los registros de dichas especies están fuera del límite manejado. De este modo, es importante considerar que independientemente del sistema de regionalización empleado y de la arbitrariedad de los atributos de la división (físicos y/o biológicos), la delimitación se debe seguir considerando como una herramienta básica para la planeación ambiental (CONABIO, 2008) pese a la posibilidad de incluir o excluir a algunas especies, tal como sucede al comparar la composición de la avifauna reportada en estudios previos y el presente. Por lo tanto, como se mostró, la riqueza total obtenida en este estudio es producto de una amplia búsqueda de registros históricos y trabajo de campo de los últimos años, sin embargo, aún existe la posibilidad de que estudios posteriores en sitios poco explorados puedan contribuir e incrementar el conocimiento de la composición avifaunística aquí presentado.

8.3. Patrones de distribución espacial y potencial de la avifauna.

La Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí se caracteriza por tener una accidentada orografía la cual incide en la presencia de una compleja variedad de hábitats donde los gradientes altitudinales, precipitación y temperatura son determinantes en la presencia o ausencia de ciertos grupos biológicos y sus patrones de distribución. De acuerdo con los resultados de los patrones de distribución de la avifauna, se encontró una asociación de dependencia de las proporciones de riqueza con respecto a los intervalos altitudinales y la vegetación.

En el análisis de intervalos altitudinales, sobresalieron los intervalos de 200 a 500 m y 1000 a 1500 m como los más representativos en términos de riqueza total, endemismos, estacionalidad y riqueza de aves en alguna categoría de riesgo. Los resultados encontrados en el intervalo de 1000 a 1500 m se asemejan a los datos reportados por De la Barreda-Bautista (2006), quien menciona que para el estado de Hidalgo en el mismo intervalo altitudinal se encuentran los patrones de mayor riqueza y endemismo de aves. En otros datos, se detectó que el número de especies estuvo sesgado por el muestreo, por ejemplo, en el piso de mayor altitud de la sierra (> 2000 m) sólo se tiene registrada una especie residente: *Nyctidromus albicollis*. En este caso, si bien se reconoce que las proporciones de riqueza disminuyen conforme la altitud aumenta (Begon *et al.*, 2006), es importante deducir que estudios remotos serán relevantes para ampliar la información anterior.

Por otra parte, los resultados del análisis de la distribución de la avifauna en los distintos tipos de vegetación y usos de suelo revelaron un muestreo disímil en cada cobertura. Los bosques de encino son los más predominantes en la zona de estudio (aproximadamente el 25 %) y es precisamente en este tipo de vegetación en donde se ha presentado el mayor esfuerzo de colecta. El sesgo en el muestreo es elevado, por ejemplo, si se compara el número de registros presentes en los bosques de encino contra aquellos que ocurren en las zonas agrícolas se aprecia que los primeros casi duplican a los segundos, mientras que en otros, como el bosque mesófilo de montaña (BMM), sólo se reconocen los registros de 6 especies (Fig. 28). Aunque el dato anterior parezca incongruente y dado a que los BMM son considerados como uno de los principales centros de riqueza y endemismos, resultado de su historia y su distribución insular (Escalante *et al.*, 1993; Toledo y Ordoñez, 1998), los resultados de este estudio demuestran que en la Sierra Madre Oriental potosina este tipo de vegetación es uno de los menos estudiados.

Vargas-Canales (2006) menciona que en los BMM del estado hay una riqueza de 50 especies de aves. Este autor hizo esa estimación con base en la unión de registros históricos de la avifauna sobre la vegetación potencial propuesta por Rzedowski, (1978) (ver Fig. 4) la cual, al presentar dicho atributo, sólo permite dar una aproximación histórica de la vegetación. Por esta razón, el conocimiento de la avifauna en el BMM está distante de exponer datos confiables ya que no hay una correspondencia adecuada con relación a la

heterogeneidad real del paisaje. Por lo tanto, los datos de riqueza en los BMM encontrados en la presente investigación son bajos pero evidentes por lo que es sumamente importante realizar estudios para la conservación de este tipo de vegetación que ocupa alrededor del 1 % de la superficie del país (Rzedowski, 1978) y apenas el 0.1 % en la zona de estudio, además de que es uno de los sistemas más susceptibles a cambiar y desaparecer por las distintas actividades productivas, principalmente por la ganadería (Toledo y Ordoñez, 1998).

Aunque la mayoría de los registros de aves correspondieron a los bosques de encino, la riqueza en éste tipo de vegetación no manifestó el mismo patrón. Los resultados indicaron que las zonas agrícolas exhiben las mayores proporciones de riqueza total, endemismos, estacionalidad y riqueza de aves en alguna categoría de riesgo. Éstos resultados son importantes ya que revelan que en la zona de estudio los ecosistemas manejados por el hombre y que son destinados para la agricultura albergan una riqueza importante de aves. Posiblemente ésta información sea controvertida debido a que se ha manifestado que la transformación del hábitat y la ocupación de áreas para el desarrollo de la agricultura afecta de manera general a la diversidad biológica (SEMARNAT, 2008, Ríos-Muñoz y Navarro-Sigüenza, 2009). Particularmente en el grupo de las aves se reconoce que los hábitats abiertos presentan una composición más simple, influyendo en la presencia de aves exclusivas de sistemas agropecuarios (Stotz *et al.*, 1996). Sin embargo, estudios sobre aves, mamíferos y artrópodos han mostrado que gran parte de las especies de la vegetación original puede coexistir en terrenos agrícolas cuando en el paisaje prevalece una configuración espacial de mosaicos compuestos por cultivos y vegetación remanente que a su vez se conectan con sitios que tienen vegetación original (Rodewal y Yahner, 2001; Weibull, *et al.*, 2003). Los remanentes de vegetación y los cultivos pueden ser fundamentales para mantener a la avifauna porque proveen recursos para la anidación y el forrajeo, además, al conectarse con la vegetación nativa en conjunto facilitan la dispersión de semillas, el movimiento y desplazamiento de las aves y, al mismo tiempo, mitigan los riesgos de la depredación y el parasitismo (Robison *et al.*, 1995; Newton, 1998).

Bajo esa perspectiva, es posible que en la zona de estudio se esté manifestando una configuración del paisaje similar a la mencionada en el párrafo anterior la cual presumiblemente influye en los elevados valores de riqueza de aves encontrados en los

sistemas agrícolas. En la Sierra Madre Oriental las áreas agrícolas se ubican principalmente en las llanuras y planicies, mientras que la vegetación nativa se limita generalmente a zonas con mayor pendiente (*e.g.*, cerros, lomas; INEGI, 2002). Debido a las condiciones abruptas del relieve las actividades agrícolas son habitualmente bajas y es en la zona media y zona oriental de la sierra en donde emergen las condiciones ambientales necesarias para el cultivo de la caña de azúcar, café, alfalfa, naranja y otros árboles frutales. Algunos estudios (Estrada, *et al.*, 1997; Petit *et al.*, 1999; Petit y Petit, 2003; García-Hernández, 2010), mencionan que ciertos cultivos, como los antes mencionados, son sistemas de bajo impacto en la riqueza de la avifauna ya que proporcionan a las aves de alimento, soporte para la construcción de nidos, sitios de descanso y áreas de refugio, mismos beneficios que no existirían si la transformación del hábitat se destinara a otras actividades humanas de mayor impacto en el suelo, como la ganadería y la urbanización, por ejemplo.

De este modo, los terrenos agrícolas pueden ser sitios importantes para las aves, como para aquellas que presentan una estacionalidad migratoria las cuales utilizan los recursos de los cultivos para refugiarse y alimentarse durante el tránsito a sus destinos (Stotz *et al.*, 1996). Los resultados obtenidos pueden confirmar lo anterior ya que se encontró que a diferencia de las coberturas de vegetación natural, en las coberturas agrícolas están los registros únicos de la mayoría de las aves migratorias con hábitos acuáticos, entre las que destacaron *Anas americana*, *Anas discors*, *Ardea alba*, *Egretta thula*, *Egretta tricolor* y *Plegadis chii*. Según Peterson y Chaliff (1989) y Howell y Webb (1998) éstas especies ocurren en zonas de fango o pantanos y cuerpos de agua como charcos y lagos de agua dulce, mismos que en el área de estudio son utilizados en el sistema de riego de algunos cultivos por lo que posiblemente los registros de éstas aves en las zonas agrícolas pueden estar asociados al uso de los recursos que brindan los cultivos, como los mencionados al inicio del párrafo.

También, el análisis de riqueza por cobertura de suelo reveló la acumulación histórica de 109 especies de aves en sitios que han sido transformados en su totalidad a zonas urbanas y 108 especies en pastizales naturales y/o inducidos. De éstas especies algunas son indicadoras de ambientes perturbados (Stotz *et al.*, 1996), entre las que sobresalen *Crotophaga sulcirostris*, *Buteo magnirostris*, *Thraupis abbas*, *T. episcopus*, *Cyanerpes cyaneus*, *Columbina inca*, *C. passerina*, *Piaya cayana*, *Dryocopus lineatus*, *Pitangus*

sulphuratus, *Volatinia jacarina*, *Sporophila torqueola*, *Tiaris olivaceus*, *Saltator coerulescens* y *Cardinalis cardinalis*. Asimismo, con base en los indicadores de susceptibilidad de las aves neotropicales al cambio en el tipo de hábitat y condiciones ambientales (Stotz *et al.*, 1996), se puede identificar la posible erradicación en estos sitios de algunas especies consideradas amenazadas o en peligro de extinción debido a que presentan una susceptibilidad media a elevada por la perturbación del hábitat, sumado a la extracción indiscriminada de su hábitat con fines de comercio, como ocurre con los Psittacidos (Ríos-Muñoz y Navarro-Sigüenza, 2009). En este aspecto sobresalen *Crax rubra*, *Penelope purpurascens*, *Micrastur semitorquatus*, *Accipiter cooperi*, *Campylopterus curvipennis*, *Amazona autumnalis*, *Aratinga holochlora*, *Amazona viridigenalis*, *Ara militaris*, *Amazona oratrix*, *Campephilus guatemalensis*, *Catharus mexicanus*, *Ramphastos sulfuratus*, *Dartylotyx thoracicus*, *Meleagris gallopavo* y *Melanotis caerulescens*.

No obstante, a pesar de que los resultados revelan que a nivel de paisaje los terrenos agrícolas pueden ser sitios importantes para algunas aves, se reconoce que a largo plazo la intensificación de las actividades agrícolas genera una eventual transformación a otros usos del suelo que promueven la fragmentación irreversible del hábitat y la posterior pérdida de su diversidad biológica (Petit *et al.*, 1999; SEMARNAT, 2008). En este sentido, la fragmentación del hábitat ha sido propuesta como el principal factor en la declinación y extinciones regionales de poblaciones aves (Newton, 1998), por lo que el conocimiento de los cambios en el paisaje vinculado al conocimiento de los patrones de distribución de las especies pueden ser útiles en la evaluación del estado de conservación de los ecosistemas en los que hay presión antrópica y, de ese modo, pueden ser útiles en el establecimiento de planes de conservación y delimitación de áreas importantes para la conservación de la biodiversidad, entre otros (Ortega-Huerta y Peterson, 2004; Benito de Pando y Peñas de Giles, 2007).

Al respecto, en la presente investigación se determinó la distribución potencial de la avifauna a través de los modelos ecológicos de nicho con los cuales se definieron los sitios con las condiciones ambientales idóneas para albergar a la mayor concentración de especies de aves residentes, especies migratorias con poblaciones residentes (residentes totales), especies migratorias, especies de aves bajo alguna categoría de riesgo y endemismo en la

zona sureste y la zona media de la Sierra Madre Oriental potosina, específicamente en los alrededores de los municipios de Xilitla, Tamazunchale y centro-norte de Tamasopo. Estos escenarios mostraron un patrón similar entre sí en lo referente a la distribución de la disponibilidad del hábitat; las diferencias apreciables se identificaron principalmente en los valores de riqueza, siendo el modelo ecológico de nicho de la riqueza total el que mostró una concentración máxima de 131 especies, la cual supera por 20 especies (18%) a la riqueza máxima encontrada por localidad única de colecta (111 especies). En el caso del modelo de distribución potencial de la avifauna endémica éste exhibió, a diferencia de los demás, un aumento de áreas aptas para mantener elevadas concentraciones de riqueza en la porción norte y este de la zona de estudio con valores máximos de 14 especies, los cuales mantienen una especie más con respecto a las especies en alguna categoría de endemismo registradas por localidad única de colecta. El modelado de la riqueza de especies en alguna categoría de endemismo concuerda con las zonas donde predominan selvas y matorrales, en los que se señaló anteriormente se caracterizan por mantener a una elevada riqueza de especies endémicas (SEMARNAT, 2008).

Vargas-Canales (2006) generó escenarios de la riqueza y endemismo de las aves del estado de San Luis Potosí con el Algoritmo Genético para Predicción de Conjunto de Reglas (GARP). Este autor, señala que en la porción de la Sierra Madre Oriental existen sitios con las condiciones ambientales necesarias para albergar una riqueza total de hasta 194 especies de aves, de las cuales 30 son endémicas. Esto significa un incremento de la predicción del 48 % con respecto de la riqueza total y un aumento del 130 % de la riqueza de aves endémicas predichas en la presente investigación. Debido a las diferencias arrojadas por los distintos métodos, algunas investigaciones (*e.g.* Elith *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2006; Phillips *et al.*, 2006; Benito de Pando y Peñas de Giles, 2007; Pearson *et al.*, 2007; Ortega-Huerta y Peterson, 2008) han comparado las optimizaciones de los mismos y, en general, han mostrado que los modelos se diferencian entre sí en la forma en que, matemáticamente, se estiman las condiciones ambientales de los taxones de estudio, de tal modo que los resultados dependerán de la aplicación del modelo y de la calidad de los datos biológicos de entrada del algoritmo utilizado (Lobo, 2008). Por esta razón, a diferencia de la información reportada por Vargas-Canales (2006), el modelado de la distribución de la avifauna con el algoritmo Maxent permitió determinar la predicción de la distribución a una resolución espacial más

detallada y al mismo tiempo reconocer la precisión de los modelos generados mediante las curvas de respuesta del operador (curvas ROC), las cuales revelaron que los modelos con mayor exactitud correspondieron principalmente a aquellas especies que presentan distribución geográfica restringida en la zona de estudio, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Hernández y colaboradores (2006) quienes además señalan que dicho atributo corresponde a especies con tolerancia ambiental limitada.

Independientemente de la capacidad predictiva de los distintos algoritmos, éstos han sido propuestos como elemento importante para el desarrollo de estrategias de conservación (Sánchez-Cordero *et al.*, 2005; Illoldi-Rangel *et al.*, 2008), debido a que generan información útil sobre los sitios en los que se encuentran las condiciones ambientales similares a las originales en las que ocurren las especies y asimismo permiten identificar los sitios en los que es probable que los taxones se presenten o en los que pueden ser sostenidos (Pearson *et al.*, 2007; Phillips y Dudik, 2008), de modo que dicha información puede ser utilizada para delimitar áreas prioritarias para la conservación biológica.

8.4. Determinación de la avifauna en el paisaje fragmentado y en áreas de conservación.

Bajo la perspectiva de la ecología del paisaje, la sobreposición espacial de coberturas de distintas variables en el mismo espacio geográfico contribuye al establecimiento de hipótesis acerca de las relaciones de las mismas (Turner, 1990; McGarigal y Marks, 1994). De acuerdo con lo anterior, el cálculo de la distribución potencial de la avifauna y los patrones del paisaje vinculados a las áreas prioritarias para la conservación biológica, permitieron reconocer e identificar, de manera espacial, el estado de la diversidad geográfica de las aves en relación al grado de fragmentación del hábitat y, al mismo tiempo apreciar su relevancia en las áreas destinadas a la protección. Los resultados de los modelos de distribución potencial obtenidos en este estudio sugieren escenarios de elevada riqueza de aves en sitios que carecen de protección por parte de las autoridades federales, estatales y municipales. Los modelos ecológicos de nicho coincidieron espacialmente (y de manera parcial) en un Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS; Arizmendi y Márquez, 2000), que

está ubicada en el norte del municipio de Tamasopo, en el poblado de San Nicolás de los Montes (Fig. 40 y 41). Esta AICA es considerada como un área prioritaria para la conservación biológica debido su alto nivel de endemismos y riqueza; se caracteriza por estar ubicada en la parte media de la zona de estudio en donde predominan los bosques de encino y selva mediana subperennifolia, en los cuales a partir del análisis temporal del paisaje se determinó una baja fragmentación del hábitat (Fig. 39) pero con tendencia al aislamiento (en el caso de las selvas), esto con base en los resultados de las métricas del paisaje. Los registros por localidad única de colecta dentro de ésta área permitieron identificar una riqueza máxima de 111 especies, mientras que la correspondencia de registros en toda el área comprendida por el AICA acumuló una riqueza histórica de 159 especies lo que representa el 44.7 % de la riqueza total presente en la zona de estudio y un 60% más con respecto a la riqueza reportada en la literatura (99 especies; Arizmendi y Márquez, 2000).

La AICA de San Nicolás de los Montes es relevante no solo por los valores de riqueza y la baja tendencia a la fragmentación del hábitat señalados previamente, sino también porque se sitúa en un punto estratégico en la Sierra Madre Oriental; se ubica entre tres áreas naturales protegidas bajo la autoridad federal: El Cielo en Tamaulipas, la Sierra del Abasco-Tanchipa en San Luis Potosí y la Sierra Gorda de Querétaro, ambas reservas de la biosfera. Ésta ubicación le confiere una función de corredor biológico entre áreas protegidas, que contribuye en la comunicación de las poblaciones de aves y posiblemente de otros taxones. Probablemente esta zona representa un punto importante para el desplazamiento de las aves hacia los estados del norte (Tamaulipas y Nuevo León) y los estados del sur (Hidalgo y Querétaro), por lo que su conservación podría ser una clave para salvaguardar la continuidad de las especies del noreste de México. Centrar la atención en superficies ubicadas fuera de las áreas naturales protegidas, pero aledañas a éstas, contribuiría en gran medida a la protección biológica (Domínguez-Cervantes, 2009), principalmente para aquellos taxones que presentan una distribución restringida o que están en alguna categoría de riesgo.

También, otro sitio que es importante desde el punto de vista avifaunístico y que carece de áreas prioritarias para la conservación biológica es la región aledaña a los municipios de Xilitla y Tamazunchale en el sureste de la zona de estudio. Los modelos ecológicos de nicho revelaron elevados valores de riqueza de aves para esta parte de la Sierra Madre Oriental

potosina en donde históricamente se ha acumulado una riqueza de 224 especies (62.9 % del total). Estos valores se aproximan a la riqueza de aves estimada (231 especies) para el área natural protegida más cercana, esto es, en la reserva de la biosfera Sierra Gorda, Querétaro (González-Salazar, 2001), la cual también comparte varios atributos de la vegetación como la presencia de bosques de pino y selva alta perennifolia. Los datos obtenidos en el análisis temporal de la fragmentación del hábitat mostraron una tendencia al aislamiento de la vegetación que posiblemente en esta región está asociada a factores culturales y antrópicos que generan cambios en la vegetación hacia actividades agrícolas, ganaderas, extracción forestal, entre otros. El avance de la fragmentación del hábitat en esta zona puede causar una disminución de la diversidad de aves encontrada hasta ahora por lo que el manejo adecuado de los recursos y políticas de protección contribuirá a controlar la degradación del hábitat.

El límite sur del AICA de San Nicolás de los Montes y la porción suroeste de la zona de estudio, en los municipios de Santa Catarina y Lagunillas, tampoco presentan áreas para la conservación biológica. En estos sitios donde predomina la selva baja caducifolia y el matorral xerófilo se encontró la mayor disponibilidad de hábitat para albergar a una elevada riqueza de aves en alguna categoría de endemismo. Esto corrobora la relevancia de la ubicación de estos tipos de vegetación en la zona de estudio como puntos de importancia para la ocurrencia de especies únicas (Toledo y Ordoñez, 1998). Asimismo, se detectó una baja predicción de la riqueza total de aves en donde sobresale la más alta heterogeneidad del paisaje, que alude a una elevada tendencia a la fragmentación del hábitat y a la presencia de varios tipos de coberturas del terreno (Fig. 39). En términos de composición de la avifauna, en esta zona ocurren principalmente las especies de más baja susceptibilidad a los cambios ambientales y sobresalen especies de hábitos generalistas (Stotz *et al.*, 1995) que posiblemente se benefician por los recursos que proporcionan las coberturas destinadas a la agricultura y pastizales. A pesar de lo anterior, los resultados en este estudio no permiten dar una aproximación del impacto de la fragmentación a una escala más detallada en la que se muestren los efectos de la fragmentación del hábitat en las poblaciones, principalmente en los aspectos demográficos de la diversidad de aves. Por ello se sugiere prestar atención a esta zona llevando a cabo estudios orientados al monitoreo y evaluación de la composición y abundancia de las poblaciones de aves en relación al estado del hábitat. Vale la pena

mencionar que en estos sitios las posibilidades de aplicación del riego a la agricultura son nulas, por lo que las actividades agrícolas son principalmente del tipo manual estacional, lo cual eleva los riesgos de erosión del suelo y fragmentación en los sitios que se desmontan para ese fin (INEGI, 2002), lo cual implica perjuicios para la diversidad biológica, en general.

8.5. Consideraciones finales

Las políticas de conservación y planes de manejo están encaminados a la conservación *in situ* de los ecosistemas y hábitat, así como al mantenimiento y la recuperación de poblaciones viables de especies en su entorno natural. Las actividades de conservación de la diversidad biológica se han centrado principalmente en las zonas donde predomina la vegetación nativa y elevados valores de riqueza, sobre todo con especies que presentan algún estatus de riesgo (CONANP, 2008). No obstante, estas últimas no solo están presentes en los sitios con vegetación original sino también pueden formar parte de los sistemas agrícolas, los cuales consiguen llegar a ser su hábitat principal debido a los recursos que ofrecen los cultivos (Petit *et al.*, 1999). En este estudio se encontró que las zonas agrícolas albergan una elevada riqueza de aves, incluidas aquellas especies que presentan una distribución restringida, alguna categoría de riesgo y elevada susceptibilidad a los cambios en el ambiente. Es por ello que se sugiere que este tipo de coberturas deberían ser tomadas en cuenta para la toma de decisiones referentes a la gestión ambiental y las políticas de conservación biológica en el estado.

Esta investigación reafirma la relevancia de la Sierra Madre Oriental potosina como un punto importante para la conservación de la avifauna y de la diversidad biológica en general. En el aspecto metodológico destaca la utilidad del empleo y aplicación de herramientas geoinformáticas y modelos de distribución potencial en la ubicación de áreas de importancia para la conservación biológica. Este tipo de investigaciones proveen información a nivel regional, lo cual permite y facilita la conjunción de distintas áreas del conocimiento, además promueve los esfuerzos de muestreo en sitios poco explorados, así como trabajo de campo faunístico básico y sistemático. Por ello, es necesario ampliar estos estudios e incluir otros grupos biológicos, además de incorporar las perspectivas sociales como las actividades

económicas y tenencia de la tierra para la planificación y conservación ambiental. De no tomarse medidas preventivas, en un futuro se podría perder o reducir la diversidad de aves documentada hasta el momento.

9. CONCLUSIONES

La Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí es un región de elevada diversidad avifaunística que está constituida por 356 especies de aves que representan al 73 % de las especies presentes en el estado de San Luis Potosí y al 32.8 % del total de especies en el país. Del total, 41 especies tienen alguna categoría de endemismo; 81 especies presentan alguna categoría de riesgo; 234 especies son residentes permanentes y 122 especies son migratorias.

Esta investigación representa una contribución al conocimiento avifaunístico del estado de San Luis Potosí en el que se analizan los patrones de distribución espacial y potencial de la avifauna. Además, es el primer estudio en el estado y en la región de la Sierra Madre Oriental en el que se analizan los cambios temporales en el paisaje y su relación con la avifauna, los resultados revelaron una marcada tendencia a la fragmentación de las cubiertas originales de la vegetación, en beneficio de la conexión de las coberturas relacionadas con las actividades humanas (agricultura, pastizales, zonas urbanas y vegetación secundaria). Como efecto de ello se detectó la posible afectación a 70 especies de aves (la mayoría endémicas o en alguna categoría de riesgo) que presentan una elevada sensibilidad a la fragmentación del hábitat.

El análisis de la fragmentación del hábitat en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí mostró escenarios de baja fragmentación en los alrededores de los municipios de Xilitla, Tamazunchale y norte de Tamasopo, mismos en los que se detectaron las condiciones ambientales necesarias para albergar a la mayor riqueza de aves residentes, migratorias, endémicas y bajo alguna categoría de riesgo. Debido a la baja representatividad de áreas destinadas a la conservación biológica, los resultados sugieren que los sitios antes mencionados son los apropiados para la conservación de las aves y de la diversidad biológica, en general.

LITERATURA CITADA

- Anderson, R. P., M. Gómez-Laverde y T. Peterson. 2002. Geographical distributions of spiny pocket mice in South America: insights from predictive models. *Global Ecology and Biogeography* 11: 131-141.
- Anderson, R. P., D. Lew y A. T. Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, 162, pp. 211-232.
- AOU – American Ornithologist’s Union. 1998. *Check-list of North American Birds*. Committee on Classification and Nomenclature. E.U.A.
- Argote-Bernal, A. 2002. Distribución de la avifauna del bosque tropical caducifolio de la Sierra de Huautla, Morelos, México. Tesis Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F.
- Arizmendi, M. C. y L. Márquez. 2000. *Áreas de Importancia para la Conservación de las aves de México, AICAS*. CONABIO. México.
- Arriaga-Weiss, S.L., S. Calmé y C. Kampichler. 2008. Bird communities in rainforest fragments: guild responses to habitat variables in Tabasco, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 17:173–190
- AUDUBON. 2009. *Christmas Birds Counts*. Disponible: <http://www.audubon.org/Bird/cbc/>. (Consultado: 2009, septiembre 20)
- Avian Knowledge Network (AKN).2009. *The eBird Reference Dataset*. Disponible: <http://www.avianknowledge.net/>. (Consultado: 2009, septiembre 20).
- Begon, M., C. R. Townsend y J. L. Harper. 2006. *Ecology: from individuals to ecosystems*. Blackwell publishers. U. K.
- Behrens, T. 2003. Texture Analysis and Neighbourhood Statistics Versión 1.2
- Benito de Pando, B. y J. Peñas de Giles. 2007. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus* 7:100-119
- BirdLife International. 2003. *BirdLife's online World Bird Database: the site for bird conservation*. Version 2.0. Cambridge, UK: BirdLife International. Disponible: <http://www.birdlife.org> (Consultado: 2009, Septiembre 18).
- Bogaert, J. y Y. J. J. Barima. 2008. On the transferability of concepts and its significance for landscape ecology. *Journal of Mediterranean Ecology* 9: 35-39
- Carabias, J., V. Arriaga y V. Cervantes. 1994. Los recursos naturales de México y el desarrollo. En: P. Pascual-Moncayo y J. Woldenberg (Coords.) *Desarrollo, desigualdad y medio ambiente*. Ed. Cal y Arena. México, D. F. Pp. 303-345.
- Cárdenas, G., C. A. Harvey, M. Ibrahim y B. Finegan. 2003. Diversidad y riqueza de aves en diferentes hábitats en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(2-3):
- Casas-Adreu, G. y T. Reyna-Trujillo. 1990. Provincias herpetofaunísticas. En Herpetofauna (anfibios y reptiles). IV.8.6 *Atlas Nacional de México*. Vol II. Escala 1:8 000 000. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Cervantes-Zamora Y., Cornejo-Olguín S. L., Lucero-Márquez R., Espinosa-Rodríguez J. M., Miranda-Viquez E. y Pineda Velásquez A. 1990. “Clasificación de Regiones Naturales de México”, IV. 10. 2. *Atlas Nacional de México*. Vol. II. Escala 1: 4000000.

- CIPAMEX- CONABIO. 1999. Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves. Escala 1: 250 000. México. Financiado por CONABIO-FMCN-CCA. Disponible: <http://www.conabio.gob.mx>. Consultado: 2009, septiembre 25).
- Chapa-Bezanilla, D., J. Sosa-Ramírez y A. de Alba Ávila. 2008. Estudio multitemporal de fragmentación de los bosques en la Sierra Fría, Aguascalientes, México. *Maderas y Bosque* 14(1): 37-51.
- Chapin, F. S. III, E. S. Zavaleta, V. T. Eviner, R. L. Naylor, P. M. Vitousek, H. L. Reynolds, D. U. Hooper, S. Lavorel, O. E. Sala, S. E. Hobbie, M. C. Mack and S. Díaz. 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405:234-242
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2003. Áreas Naturales Protegidas. Escala 1: 4000000. México. Disponible: <http://www.conanp.gob.mx>. (Consultado: 2009, septiembre 25).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1997. Provincias Biogeográficas de México. Escala 1: 4000000. México, DF. Disponible: <http://www.conabio.gob.mx>. (Consultado: 2009, septiembre 22).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1999. Ecorregiones de México. Escala 1:1000000. México, DF. Disponible: <http://www.conabio.gob.mx>. (Consultado: 2009, noviembre 25).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2008. *Regionalización*. Disponible: <http://www.conabio.gob.mx>. Consultado: 2010, septiembre 23 enero).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2008. *aVerAves versión 2*. Disponible: <http://www.conabio.gob.mx>. Consultado: 2009, septiembre 20).
- Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES). Appendices I, II and III. . Disponible: <http://www.cites.org> (Consultado: 2009, septiembre 20).
- Davis, L. I. y M. Johnson. 1947. Eleventh breeding bird census (oak-sweetgum community in S. L. P.). *Aunbdub. Field Notes* 1: 202-203.
- Davis, L. I. 1952. Winter bird census at Xilitla, San Luis Potosi, Mexico. *Condor* 54(6): 345-355
- De Cserna, Z. 1989. An outline of the geology of Mexico. En Bally A. y A. R. Palmer (eds.). *The geology of North America: an overview*. Geological Society of America Boulder. Colorado, U.S.A.
- De la Barrera-Bautista, B. 2006. Patrones de distribución de la avifauna del estado de Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. 30 de diciembre de 2010. México, D.F., México.
- Dirzo, R. y P. H. Raven. 2003. Global state of biodiversity and loss. *Annu. Rev. Environ. Resourc.* 28:137-167.
- Domínguez-Cervantes, E. 2009. *Conectividad biológica y social: zonas de influencia de las áreas naturales protegidas*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México, D. F. Pp. 130.

- Elith, J., C. H. Graham, R. P. Anderson, M. Dudík, S. Ferrier, A. Guisan, R. J. Hijmans, F. Huettmann, J. R. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L. G. Lohmann, B. A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J. McC. Overton, A. T. Peterson, S. J. Phillips, K. S. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R. E. Schapire, J. Soberón, S. Williams, M. S. Wisz, y N. E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151
- Elkie, P., R. Rempel y A. Carr. 1999. *Patch Analyst User's Manual*. Ont. Min. Natur. Resour. Northwest Sci. & Technol. Thunder Bay, Ont. TM-002.
- Easterla, D. A. 1964. Bird records from San Luis Potosí, México. *Condor* 66:514.
- Environmental System Research Institute (ESRI). 1999. ArcView Gis Ver 3.2. Environmental System Research Inc. USA.
- Environmental System Research Institute (ESRI). 2008. ArcGIS Ver 9.3. Environmental System Research Inc. USA.
- Escalante, P., A. G. Navarro y A. T. Peterson. 1993. A geographic ecological and historical analysis of the land bird diversity in Mexico. En: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (Eds.) *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution*, Oxford University. Pp. 281-307.
- Espinosa-Organista, D., C. Aguilar-Zúñiga y T. Escalante-Espinosa. 2001. Endemismo, áreas de endemismo y regionalización biogeográfica. En: Llorente-Bousquet, J. y J. J. Morrone (Eds.). *Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F. Pp. 31-37
- Estrada, A., R. Coates-Estrada y D. Meritt. 1997. Anthropogenic landscape changes and avian diversity at Los Tuxtlas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 6: 19-43.
- Estrada, A., A. Rivera, A. y R. Coates-Estrada. 2002. Predation of artificial nests in a fragmented landscape in the tropical region of Los Tuxtlas, Mexico. *Biological Conservation* 106 (2): 199-209
- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 34: 487-515.
- FAO. 1996. *Forest resources assessment 1990*. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Number 130. Roma.
- Ferrusquía-Villafranca, I. 1990. "Provincias Bióticas (con énfasis en criterios morfotectónicos)" en Regionalización Biogeográfica, IV.8.10. *Atlas Nacional de México*. Vol. II. Escala 1: 4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Flores-Villela O. 1991. Análisis de la distribución de la herpetofauna de México. Ph. D. Dissertation. UNAM, México.
- Friedmann, H., L. Griscom y R. T. Moore. 1950. Distributional check-list of the birds of Mexico. Part I. *Pacific Coast Avifauna* 29: 1-202.
- García, E. – Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998. Precipitación total anual. Escala 1: 1000000. México. Disponible: <http://www.conabio.gob.mx>. (Consultado: 2010, diciembre 28).
- García-Hernández, M. A. 2010. Avifauna de la region de Pluma Hidalgo, Oaxaca. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F.
- Gómez de Silva, H. 2003. Mexico. *North American Birds* 57(1): 123-128
- González-García, F y H. Gómez de Silva. 2003. Especies endémicas: riqueza, patrones de distribución y retos para su conservación. En Gómez de Silva, H. y A. Oliveras de Ita

- (Eds). Conservación de aves: experiencias en México. National Fish and Wildlife Foundation-CIPAMEX-CONABIO. Pp. 150-194.
- González-Salazar, C. 2001. Avifauna de la Reserva de la biosfera, Sierra Gorda, Querétaro, México. Tesis Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala Los Reyes Iztacala, México.
- Graham, C. H. y R. J. Hijmans. 2006. A comparison of methods for mapping species ranges and species richness. *Global Ecology and Biogeography* 15: 578-587.
- Gutiérrez-Rubio, M. T. N. J. 2008. Estado de Conservación de la Avifauna de Providencia-Paso Real, Río Verde, San Luis Potosí, oficialmente sujeta a aprovechamiento. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F.
- Hernández, P. A., C. H. Graham, L. L. Master y D. L. Albert. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29: 773-785.
- Hernández-Cerda, M. E. y G. Carrasco-Anaya. 2004. Climatología. En: Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa (eds.). 2004. *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. Pp. 63-108
- Hernández-Ramos, R. 2009. Potencial natural para el desarrollo del turismo en la Huasteca potosina. Tesis licenciatura (Geografía). Facultad de Filosofía y letras, UNAM. México, D. F.
- Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones y A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Howell, S. N. G. y S. Webb. 1995. A guide to the birds of Mexico and northern Central America. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Hutchinson, G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol.* 22: 415-427.
- Illoldi-Rangel P., V. Sánchez-Cordero y A. T. Peterson. 2004. Predicting distributions of Mexican mammals using Ecological Niche Modeling. *Journal of Mammalogy* 85(4): 658-662.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1987. Carta de México. Topográfica 1: 250 000. INEGI. México, D. F.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1990. "Hipsometría". Extraído de hipsometría y barimetría. I. 1.1. Atlas Nacional de México. Vol. 1 Escala 1: 4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), L. Ita-Rubio de, I. Escamilla-Herrera, C. García-de León, Ma. C. y Soto-Núñez. 1990. 'División Política Estatal 1:4000000', I.1.2. Atlas Nacional de México. Vol. I. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2002. *Síntesis de Información Geográfica del Estado de San Luis Potosí*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) -Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) - Instituto Nacional de Ecología (INE). 2008. 'Ecorregiones terrestres de México'. Escala 1:1000000. México.
- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN). 2009. The IUCN Red List of Threatened Species TM. Disponible: <http://www.iucnredlist.org>. (Consultado: 2009, septiembre 20).

- Jackson, N. 1990. El Naranjo, San Luis Potosí. *AMER. Birds* 45: 1007.
- Jasso-Gordoa, M. C. 2008. Distribución potencial de la avifauna del altiplano potosino. Tesis Maestría en Ciencias Aplicadas. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C. México, San Luis Potosí.
- Koleff, P. y E. Moreno. 2005. Áreas protegidas de México: regionalización y representación de la riqueza. En: Llorente-Bousquets, J. y J. J. Morrone (Eds). *Regionalización biogeográfica en Iberoamérica y tópicos afines: Primeras Jornadas de la Red Iberoamericana de Biogeografía y Entomología Sistemática (RIBES XII.I-CYTED)*. CYTED-UNAM-Conabio. México, D. F. Pp. 351-373.
- Lampila, P., M. Mönkkönen and A. Desrochers. 2005. Demographic Responses by Birds to Forest Fragmentation. *Conservation Biology* 19(9):1537-1546
- Lobo, J. M. 2008. More complex distribution models or more representative data?. *Biodiversity Informatics* 5: 14-19.
- Lowery, G. H. y R. J. Newman. 1949. New birds from the state of San Luis Potosí and the Tuxtla mountains of Veracruz, Mexico. *Occ. Pap. Mus. Zool. Louisiana St. Univ.* 22: 1-10
- Lowery, G. H. y R. J. Newman. 1951. Notes on the Ornithology of southeastern San Luis Potosí. *Wilson Bulletin* 63: 315-322.
- Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa 2004. Introducción. En: Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa (Eds.). 2004. *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. Pp. 1 -2.
- Mas, J. F. y J. Correa-Sandoval. 2000. Análisis de la fragmentación del paisaje en el área protegida "Los Petenes", Campeche, México. *Investigaciones Geográficas* (Boletín de Instituto de Geografía, UNAM) 43: 41-59.
- McGarigal, K. y B. J. Marks. 1994. *Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Reference manual. For. Sci. Dep. Oregon State University. Corvallis Oregon.
- Medina-Macías, M. N., M. A. González-Bernal y A. G. Navarro-Sigüenza. 2010. Distribución altitudinal de las aves en una zona prioritaria en Sinaloa y Durango, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 487-503.
- Meffe, G. K. y C. R. Carroll. 1994. *Principles of Conservation Biology*. Sianuer Associates, Sunderland. Massachusetts, USA.
- Mellink, E. 1991. Bird communities associated with three traditional agroecosystems in the San Luis Potosí Plateau, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 36:37-50
- Microsoft. 2007. Microsoft Office Access 2007. Microsoft Corporation. USA.
- Miller, A. H., H. Friedmann, L. Griscom y R. T. Moore. 1957. Distributional check-list of the birds of Mexico. Part 2. *Pacific Coast Avifauna* 33: 1-436.
- Mittermeier, R. A. y C. Goettsch De Mittermeier. 1992. La importancia de la diversidad biológica de México. En: Sarukán, J. y R. Dirzo (Comps.) *México ante los retos de la biodiversidad*. CONABIO. México, D. F. Pp 63-74.
- Monmonier, M.S. 1974. Measures of pattern complexity for choroplethic maps. *American Cartographer* 1:159-169.
- Montoya-Reséndiz, Y. 2008. Dinámica del uso de suelo y la fragmentación del bosque de pino con aile del volcán Cofre de Perote (1970-2003). Tesis de Maestría. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México, D. F.

- Morrone, J. J., D. Espinosa-Organista y J. Llorente-Bousquets. 2002. Mexican Biogeographic Provinces: preliminary scheme, general characterization, and synonymies. *Acta Zool. Mex. (n.s.)* 85:83-108.
- Navarro S. A. G. 1989. La sistemática ornitológica en México: posibilidades y limitaciones. En: Llorente, J. (ed). Los patrones de la Evolución y la Sistemática en México. *Revista Especial Ciencias* 3:96-102.
- Navarro-Sigüenza, A. 1994. *Formación de una base de datos de aves de México y elaboración del atlas de las aves de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. A002 México D. F.
- Navarro, A. G., A. T. Peterson y A. Gordillo-Martínez. 2003. Museums working together: the atlas of the birds of Mexico. Pp. 207-225 In: Collar, N., C. Fisher, and C. Feare (Eds.) Why museums matter: avian archives in an age of extinction. *Bulletin British Ornithologists' Club Supplement* 123A.
- Navarro, A. G., H. A. Garza-Torres, S. López de Aquino, O. Rojas-Soto y L. A. Sánchez-González. 2004. Patrones biogeográficos de la avifauna. En: Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa (Eds.). 2004. *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. Pp. 439-467.
- Navarro, A.G. y A. T. Peterson. 2004. An alternative species taxonomy of the birds of Mexico. *Biota Neotropica* 4(2):1-32
- Nelson, E. W. 1899. Description of new birds from Mexico. *The Auk* 16(1): 25-31
- Newton, I. 1998. *Population limitation in Birds*. Academic Press Limited. USA.
- Ochoa-Gaona S. y M. González-Espinosa. 2000. Land use and deforestation in the highlands of Chiapas, Mexico. *Applied Geography* 20: 17-42.
- Ochoa-Gaona S., M. González-Espinosa, J. A. Meave y V. Sorani-Dal Bon. 2004. Effect of forest fragmentation on the woody flora of the highlands of Chiapas, Mexico. *Biodiversity and Conservation*.13: 867-884.
- ORNIS. 2004. *ORNithological Information System: data providers list*. Disponible: <http://olla.berkeley.edu/ornisnet/>. (Consultado: 2009, septiembre 20).
- Ortega-Huerta, M. A. y A. T. Peterson. 2004. Modelling spatial patterns of biodiversity for conservation prioritization in North-eastern Mexico. *Diversity and Distributions* 10:39-54
- Ortega-Huerta, M. A. y A. T. Peterson. 2008. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79:205-216
- Palomera-García, C., E. Santana, S. Contreras-Martínez y R. Amparan. 2007. Jalisco. En: Ortiz-Pulido R., A. Navarro-Sigüenza, H. Gómez de Silva, O. Rojas-Soto y T. A. Peterson (Eds.). *Avifaunas estatales de México*, CIPAMEX. Pachuca, Hidalgo, México. P.p. 1-48.
- Pearson, R. G., C. J. Raxworthy, M. Nakamura y A. T. Peterson. 2007. Predicting species distribution from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34: 103-117
- Peterson, R. y E. Chalif. 1989. *Aves de México (Guía de Campo)*. Editorial Diana, México.
- Peterson, A. T., M. A. Ortega-Huerta, J. Bartley, V. Sánchez-Cordero, Jorge Soberón, R. H. Buddemeier y D. R. B. Stockwell. 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature* 416: 626-629.

- Peterson, A.T., M. Papes y M. Eaton. 2007. Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography* 30: 550-560.
- Peterson, A. T., M. Papes y J. Soberón. 2008. Rethinking receiver operating characteristics analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling* 213: 63-72.
- Petit, L. D. Petit, D. G. Christian y H. D. W. Powell. 1999. Bird communities of natural and modified habitats in Panama. *Ecography* 22: 292-304
- Petit, L. J. y D. R. Petit. 2003. Evaluating the Importance of Human-Modified Lands for Neotropical Bird Conservation. *Conservation Biology* 17(3): 687-694
- Phillips, S. J. 2008. Transferability, sample selection bias and background data in presence-only modelling: a response to Peterson et al. (2007). *Ecography* 31: 272-278.
- Phillips, S. J., M. Dudík, R. E. Schapire. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning* 655-662.
- Phillips, R. P. Anderson, R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190:231-259.
- Phillips, R. P. y M. Dudík. 2008. Modeling of species distribution with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31:161-175.
- Pickett, S. T. A. y M. L. Cadenasso. 1995. Landscape Ecology: Spatial Heterogeneity in Ecological Systems. *Science*, New series, 269(5222): 331-334.
- Pisanty-Baruch, I. 2003. Integración de conceptos de ecología, manejo de recursos naturales y desarrollo sustentable en programas de conservación de ecosistemas. En: Sánchez, O., E. Vega, E. Peters y O. Monroy-Vilchis (Eds.). *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. INE-SEMARNAT. México, D. F. Pp. 239-258.
- Pisanty-Baruch, I. 2006. Cambio global y biodiversidad. En: Urbina-Soria, J. y J. Martínez-Fernández (Comps.). *Más allá del Cambio Climático: las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global*. INE-SEMARNAT/UNAM-Facultad de Psicología. México, D. F. Pp. 95-121.
- Ralph, C. J., G. R. Geupel, P. Pyle, T. E. Martin, D. F. DeSante, y B. Milá. 1996. *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-144-www. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, EUA. Departamento de Agricultura.
- Ramírez-Pulido, J y Castro-Campillo, A. 1990. "Regiones y Provincias Mastogeográficas". Extraído de Regionalización Mastofaunística, IV.8.8. Atlas Nacional de México. Vol. III. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Rempel, R.S., A.P. Carr, and D. Kaukinen. 2008. Patch Analyst extension for ArcMap: Version 4.2. Ontario Ministry of Natural Resources. Disponible: <http://flash.lakeheadu.ca/~rrempe/patch> (Consultado: 2010, abril 20).
- Reyes-Hernández, H., L. Olvera-Vargas, F. J. Sahagún-Sánchez y J. F. Mass-Causel. 2009. Transformation of the forest cover and future scenarios in the Sierra Madre Oriental, physiographic región, San Luis Potosí, México. ISRSE 33.33 International Symposium on remote Sensing of Environment. Sustaining the Millennium Development Goals. Disponible en <http://isrse-33.jrc.ec.europa.eu>
- Ridgely, R. S., T. F. Allnutt, T. Brooks, D. K. McNicol, D. W. Mehlman, B. E. Young, and J. R. Zook. 2007. Digital Distribution Maps of the Birds of the Western Hemisphere, version 3.0. NatureServe, Arlington, Virginia, USA.

- Ríos-Muñoz, C. A., A. G. Navarro-Sigüenza. 2009. Efectos del cambio de uso de suelo en la disponibilidad hipotética de hábitat para los psitácidos de México. *Ornitología Neotropical* 20:491-509.
- Robinson, S. K., F. R. Thompson III, T. M. Donovan, D. R. Whitehead and J. Faaborg. 1995. Regional Forest Fragmentation and the nesting success of migratory birds. *Science* 267:1987-1990
- Rodewald, A. y R. H. Yahner. 2001. Influence of Landscape Composition on Avian Community Structure and Associated Mechanism. *Ecology*, 82(12): 3493-3504
- Rojas-Soto, O. R., S. López de Aquino, L. A. Sánchez-González y B. E. Hernández-Baños. 2002. La colecta científica en el Neotrópico: el caso de las aves de México. *Ornitología Neotropical* 13: 209-214
- Ruíz-Jiménez, C. A., O. Alcántara e I. Luna. 2004. Límites. En: Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa (Eds.). 2004. *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. Pp. 439-467.
- Rutledge, D. 2003. Landscape indices as measure of the effects of fragmentation: can pattern reflect process?. *DOC Science Internal Series 98*. Department of Conservation, Wellington. 27 p.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa. México. D.F.
- Rzedowski, J. 1990. Vegetación Potencial. IV.8.2. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México. Disponible: <http://www.conabio.gob.mx>. (Consultado: 2010, diciembre 28).
- Sahagún-Sánchez, F. J. 2003. Análisis de los patrones de distribución espacial de la avifauna del estado de Querétaro. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. UNAM. México, D.F.
- Sánchez-Cordero, V., V. Cirelli, M. Munguía y S. Sarkar. 2005. Place prioritization for biodiversity representation using species' ecological niche modeling. *Biodiversity Informatics* 2: 11-23
- Sánchez-González, L. A., y E. A. García-Trejo. 2010. San Luis Potosí. En: Ortiz-Pulido R., A. Navarro-Sigüenza, H. Gómez de Silva, O. Rojas-Soto y T. A. Peterson (Eds.). *Avifaunas estatales de México*, CIPAMEX. Pachuca, Hidalgo, México. Pp. 199-242.
- Santos, T. y J. L. Tellería. 2006. Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas* 15(2):3-12
- Saunders, D. A., R. J. Hobbs, y C. R. Margules. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review. *Conservation Biology* 5:18-32
- SCT. 1995. México: Atlas de Comunicaciones y Transporte. Dirección General de Planeación. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- SEMARNAT. 2008. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Edición 2008. Compendio de Estadísticas Ambientales*. México.
- Soberón, J y A. T. Peterson. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2: 1-10.
- Soberón, J. 2007. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters* 10: 1115-1123.
- Soberón, J. y J. Llorente. 1993. The use of species accumulation functions for the prediction species richness. *Conservation Biology* 7: 480-488.
- Stotz, D. F., J. W. Fitzpatrick, T. A. Parker III y D. K. Moskovits. 1996. *Neotropical birds. Ecology and conservation*. University of Chicago Press. Chicago, U.S.A.

- Suárez-Seoane, S., E. L. García de la Morena, M. B. Morales-Prieto, P. E. Osborne y E. de Juana. 2008. Maximum entropy niche-based modelling of seasonal changes in little bustard (*Tetrax tetrax*) distribution. *Ecological Modelling*, 219 (1-2):17-29
- Sutton, G. M y T. D. Burleigh. 1940a. Birds of Valles, San Luis Potosí, México. *Condor* 42(5): 259-262
- Sutton, G. M y T. D. Burleigh 1940b. Birds of Tamazunchale, San Luis Potosí. *Wilson Bulletin* 52 (4): 221-233
- Sutton, G. M. 1955. A new race of Olivaceous Woodcreeper from México. *Wilson Bulletin* 67(3): 209-211
- Toledo V. M. y M. J. Ordóñez. 1998. El panorama de la biodiversidad de México: una revisión de los hábitats terrestres. En: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (Eds.) *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM. Pp. 739- 755.
- Turner, M. 1990. Spatial and temporal analysis of landscape pattern. *Landscape Ecology* 4(1): 21-30.
- Turner, M. A., R. H. Gardner y R. V. O'Neill. 2001. *Landscape ecology in theory and practice: patterns and process*. Springer. U.S.A.
- US Breeding Bird Survey (BBS). 2009. *Monitors terrestrial birds throughout the UK to provide information that underpins the conservation of species and habitats*. Disponible: <http://www.bto.org/bbs/index.htm>. (Consultado: 2009, septiembre 20).
- U. S. Geological Survey (USGS). 2009. U. S. Geological Survey Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30). Disponible: http://eros.usgs.gov/#Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30 (Consultado: 2010, junio 25)
- Vargas-Canales, V. M. 2006. Modelaje de los Patrones de Riqueza y Endemismo de la Avifauna del estado de San Luis Potosí, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Velázquez, A., J. F. Mas, J. R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P. C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J. L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica* 62: 21-37.
- Villordo-Galván, J. A. 2009. Distribución y estado de conservación del jaguar (*Panthera onca*) en San Luis Potosí, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México.
- Vitousek, P. M., H. A. Mooney, J. Lubchenco, J. M. Melillo. 1997. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science* 277:494-499
- Watson, D. M. y A. T. Peterson. 1999. Determinants of diversity in a naturally fragmented landscape: humid montane forest avifaunas of Mesoamerica. *Ecography* 22:582-589
- Weibull, A-C., Ö. Östman y A. Granqvist. 2003. Species richness in agroecosystems: the effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiversity and Conservation* 12: 1335–1355
- Winker K. 2005. Bird Collections: Development and Use of a Scientific Resource. *The Auk* 122(3):966–971
- Zizumbo-Alamilla, O. 2005. Efecto de la fragmentación en el éxito reproductivo de Anidación de *Phainopepla nitens* (AVES: Passeriformes) en el Valle de Zapotitlán de Salinas, Puebla, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztalaca, UNAM. México.

ANEXO 1

Lista Sistemática de las aves de la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí.

El ordenamiento y nomenclatura específica sigue a A.O.U. (1998 y adendas 2000-2010; <http://www.aou.org/checklist/north/print.php>). Las fuentes de referencia de los siguientes atributos de la avifauna se señalan en el texto.

ENDEMISMO. E: endémico a México; Q: cuasi endémico a México; S: semiendémico a México y ES: endémico a la Sierra Madre Oriental.

ESTACIONALIDAD. Residentes permanentes (RB), visitantes de verano (SR), visitantes de invierno (WV), transitoria (T) y accidental (A).

CATEGORÍAS DE RIESGO (RIESGO). Según la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (**NOM059**) E: probablemente extinta en el medio silvestre; P: en peligro de extinción; A: amenazada; Pr: sujeta a protección especial. Según la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (**CITES**) Apéndice I: especies en peligro de extinción; Apéndice II: especies amenazadas; Apéndice III: especies sujetas a protección y comercio reglamentado. Según la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (**IUCN**) EX: extinta, EW: extinta en la naturaleza; CR: en alto peligro de extinción; EN: en peligro; VU: vulnerable; NT: en bajo peligro; LC: mínima preocupación; DD: datos deficientes.

TIPOS DE VEGETACIÓN Y USOS DEL SUELO. AG: agricultura; BE: bosque de encino; BP: bosque de pino; BMM: bosque mesófilo de montaña; CH: chaparral; MX: matorral xerófilo; PL: palmar; PZ: pastizal; SAP: selva alta perennifolia; SBC: selva baja caducifolia; SMS: selva mediana subperennifolia; VP: vegetación perturbada; ZU: zonas urbanas.

MODELOS. X: modelo de distribución potencial generado con el algoritmo MaxEnt; XX: modelo de distribución potencial con precisión evaluada mediante la curva ROC; XXX: modelo de distribución potencial con precisión de la predicción mayor o igual al 75%.

ANEXO 1. LISTA SISTEMÁTICA DE LAS AVES DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL POTOSINA

ORDEN	FAMILIA	SUBFAMILIA	ESPECIE	ENDESMISMO	ESTACIONALIDAD	RIESGO			TIPOS DE VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO											MODELOS						
						NOM059	CITES	IUCN	AG	BE	BP	BMM	CH	MX	PL	PZ	SAP	SBC	SMS		VP	ZU				
TINAMIFORMES	Tinamidae		<i>Crypturellus cinnamomeus</i>		RB	Pr	LC	X	X	X					X		X	X	X	X	X	X	X	X		
ANSERIFORMES	Anatidae	Dendrocygnae	<i>Dendrocygna autumnalis</i>		RB		LC	X								X	X		X		X	X	X	X		
		Anatinae	<i>Dendrocygna bicolor</i>		RB		LC												X							
			<i>Cairina moschata</i>		RB	P	LC	X	X									X							X	X
			<i>Aix sponsa</i>		WV		LC	X		X																X
			<i>Anas americana</i>		WV		LC	X																		
			<i>Anas discors</i>		WV		LC	X																		
			<i>Anas crecca</i>		WV		LC	X		X														X	X	X
GALLIFORMES	Cracidae		<i>Ortalis vetula</i>		RB		LC	X	X	X					X		X	X			X	X	X	X		
			<i>Penelope purpurascens</i>		RB	A	LC		X										X			X	X	X		
			<i>Crax rubra</i>		RB	A	NT											X	X			X	X	X		
	Odontophoridae		<i>Dendrortyx barbatus</i>	ES	RB	P	VU	X		X					X								X	X	X	
			<i>Callipepla squamata</i>		RB		LC											X								
			<i>Colinus virginianus</i>		RB		NT	X	X	X		X		X	X	X	X						X	X	X	
			<i>Dactylortyx thoracicus</i>		RB	Pr	LC		X	X				X									X	X	X	
			<i>Cyrtonyx montezumae</i>		RB	Pr	LC								X											
		Phasianidae	Meleagridinae	<i>Meleagris gallopavo</i>		RB	Pr	LC									X		X			X	X	X	X	
	PODICIPEDIFORMES	Podicipedidae		<i>Tachybaptus dominicus</i>		RB	Pr	LC									X	X					X	X	X	
SULIFORMES	Phalacrocoracidae		<i>Phalacrocorax brasilianus</i>		RB		LC	X	X							X						X	X	X		
	Anhingidae		<i>Anhinga anhinga</i>		RB		LC	X																		
PELECANIFORMES	Ardeidae		<i>Tigrisoma mexicanum</i>		RB	Pr	LC							X												
			<i>Ardea herodias</i>		WV	Pr	LC	X				X			X								X	X	X	
			<i>Ardea alba</i>		WV		LC	X																		
			<i>Egretta thula</i>		WV		LC	X																		
			<i>Egretta caerulea</i>		WV		LC	X											X				X	X	X	
			<i>Egretta tricolor</i>		WV		LC	X																		
			<i>Bubulcus ibis</i>		RB		LC	X	X							X							X	X	X	
			<i>Butorides virescens</i>		RB-WV		LC		X									X	X				X	X	X	
			Threskiornithidae	Threskiornithinae	<i>Plegadis chihi</i>		WV		LC	X																
		ACCIPITRIFORMES	Cathartidae		<i>Coragyps atratus</i>		RB		LC	X	X							X						X	X	X
	<i>Cathartes aura</i>				RB		LC	X	X			X			X	X							X	X		
Accipitridae	Accipitrinae		<i>Elanus leucurus</i>		RB		LC					X														
			<i>Ictinia plumbea</i>		SR	Pr	II	LC	X								X					X	X	X		

ANEXO 1. LISTA SISTEMÁTICA DE LAS AVES DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL POTOSINA

ORDEN	FAMILIA	SUBFAMILIA	ESPECIE	ENDESMISMO	ESTACIONALIDAD	RIESGO			TIPOS DE VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO											MODELOS			
						NOM059	CITES	IUCN	AG	BE	BP	BMM	CH	MX	PL	PZ	SAP	SBC	SMS		VP	ZU	
ACCIPITRIFORMES	Accipitridae	Accipitrinae	<i>Accipiter striatus</i>		RB-WV	Pr	II	LC	X	X							X		X	X	X		
			<i>Accipiter cooperii</i>		WV	Pr	II	LC			X					X					X		
			<i>Accipiter bicolor</i>		RB	A	II	LC			X			X	X						X	X	X
			<i>Buteogallus anthracinus</i>		RB	Pr	II	LC		X				X								X	
			<i>Parabuteo unicinctus</i>		RB	Pr	II	LC												X			
			<i>Buteo magnirostris</i>		RB		II	LC	X	X				X	X							X	X
			<i>Buteo platypterus</i>		T	Pr		LC					X										
			<i>Buteo nitidus</i>		RB		II	LC	X	X			X									X	X
			<i>Buteo brachyurus</i>		RB		II	LC	X				X	X								X	
			<i>Buteo albicaudatus</i>		RB	Pr	II	LC		X										X		X	
			<i>Buteo jamaicensis</i>		RB-WV	Pr	II	LC	X	X			X			X						X	X
			<i>Spizaetus ornatus</i>		RB	P	II	LC		X												X	
			FALCONIFORMES	Falconidae	Micrasturinae	<i>Micrastur ruficollis</i>		RB	Pr	II	LC									X			
<i>Micrastur semitorquatus</i>		RB				Pr	II	LC											X				
Caracarinae	<i>Caracara cheriway</i>				RB		II	LC	X				X								X		
	<i>Herpetotheres cachinnans</i>				RB		II	LC	X	X			X								X	X	
Falconinae	<i>Falco sparverius</i>				RB-WV		II	LC	X	X			X			X					X	X	
	<i>Falco femoralis</i>				RB	A	II	LC											X				
	<i>Falco ruficularis</i>				RB		II	LC		X									X	X	X	X	
<i>Falco peregrinus</i>		RB-WV	Pr	I	LC						X												
GRUIFORMES	Rallidae		<i>Fulica americana</i>		RB		LC	X												X			
CHARADRIIFORMES	Scolopacidae	Scolopacinae	<i>Actitis macularius</i>		WV		LC	X	X					X	X					X	X		
			<i>Tringa solitaria</i>		WV		LC	X														X	
COLUMBIFORMES	Columbidae		<i>Patagioenas flavirostris</i>		RB		LC	X	X								X			X	X		
			<i>Zenaida asiatica</i>		RB		LC	X	X			X	X		X	X					X	X	
			<i>Columbina inca</i>		RB		LC	X	X				X			X					X	X	
			<i>Columbina passerina</i>		RB		LC	X	X			X				X		X			X	X	
			<i>Columbina talpacoti</i>		RB		LC	X	X						X	X	X				X	X	
			<i>Claravis pretiosa</i>		RB		LC	X	X					X		X					X	X	
			<i>Leptotila verreauxi</i>		RB		LC	X	X			X			X	X		X	X		X	X	
			<i>Leptotila plumbeiceps</i>		RB		LC								X	X						X	
			<i>Geotrygon albigacies</i>		RB	A		LC			X												
			<i>Geotrygon montana</i>		RB		LC		X					X			X					X	X
PSITTACIFORMES	Psittacidae	Arinae	<i>Aratinga holochlora</i>	E	RB	A	II	LC	X	X	X					X	X	X	X	X			

ANEXO 1. LISTA SISTEMÁTICA DE LAS AVES DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL POTOSINA

ORDEN	FAMILIA	SUBFAMILIA	ESPECIE	ENDEMIISMO	ESTACIONALIDAD	RIESGO			TIPOS DE VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO											MODELOS				
						NOM059	CITES	IUCN	AG	BE	BP	BMM	CH	MX	PL	PZ	SAP	SBC	SMS		VP	ZU		
APODIFORMES	Trochilidae	Trochilinae	<i>Chlorostilbon canivetii</i>		RB	II	LC	X	X							X	X		X	X	X			
			<i>Cyananthus latirostris</i>	S	RB	II	LC		X	X		X	X				X	X				X	X	
			<i>Hylocharis leucotis</i>		RB	II	LC	X		X													X	
			<i>Amazilia candida</i>		RB	II	LC	X		X				X				X					X	X
			<i>Amazilia cyanocephala</i>		RB	II	LC	X	X	X		X		X	X	X							X	X
			<i>Amazilia beryllina</i>		RB		LC		X														X	
			<i>Amazilia yucatanensis</i>	Q	RB	II	LC	X	X	X		X		X				X	X	X		X	X	X
			<i>Lampornis amethystinus</i>		RB	II	LC	X	X					X									X	X
			<i>Lampornis clemenciae</i>	S	RB	II	LC	X	X														X	
			<i>Eugenes fulgens</i>		RB-T	II	LC	X	X	X													X	X
			<i>Calothorax lucifer</i>	S	SR	II	LC	X	X	X													X	
			<i>Archilochus colubris</i>		T	II	LC		X			X						X		X			X	X
			<i>Archilochus alexandri</i>	S	T	II	LC			X		X						X	X				X	X
			<i>Atthis heloisa</i>	E	RB	II	LC	X						X									X	
			<i>Selasphorus platycercus</i>	S	RB-SR	II	LC	X															X	
TROGONIFORMES	Trogonidae	Trogoninae	<i>Trogon caligatus</i>		RB		LC	X	X						X						X	X		
			<i>Trogon elegans</i>		RB		LC	X	X			X		X	X			X				X	X	
			<i>Trogon mexicanus</i>		RB		LC	X	X	X			X	X	X							X	X	
			<i>Trogon collaris</i>		RB	Pr	LC		X	X		X	X									X	X	
CORACIIFORMES	Momotidae		<i>Momotus mexicanus</i>		RB		LC							X										
			<i>Momotus momota</i>		RB		LC	X	X	X				X	X						X	X		
	Alcedinidae	Cerylinae	<i>Megaceryle torquata</i>		RB		LC	X					X	X							X			
			<i>Chloroceryle amazona</i>		RB		LC	X									X				X			
			<i>Chloroceryle americana</i>		RB		LC	X	X	X	X				X	X	X	X				X	X	
<i>Chloroceryle aenea</i>		RB		LC	X																			
PICIFORMES	Ramphastidae	Ramphastinae	<i>Aulacorhynchus prasinus</i>		RB	Pr	LC	X	X	X				X							X	X		
			<i>Ramphastos sulfuratus</i>		RB	A	II	LC						X										
	Picidae	Picinae	<i>Melanerpes formicivorus</i>		RB		LC	X	X	X				X	X	X						X	X	
			<i>Melanerpes aurifrons</i>		RB		LC	X	X	X		X		X	X	X	X	X				X	X	
			<i>Sphyrapicus varius</i>		WV		LC	X		X						X		X				X	X	
			<i>Picoides scalaris</i>		RB		LC	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	
			<i>Picoides villosus</i>		RB		LC	X																
			<i>Veniliornis fumigatus</i>		RB		LC	X	X	X				X	X	X		X				X	X	
			<i>Colaptes rubiginosus</i>		RB		LC	X	X	X				X	X	X		X				X	X	

ANEXO 1. LISTA SISTEMÁTICA DE LAS AVES DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL POTOSINA

ORDEN	FAMILIA	SUBFAMILIA	ESPECIE	ENDESMISMO	ESTACIONALIDAD	RIESGO			TIPOS DE VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO											MODELOS							
						NOM059	CITES	IUCN	AG	BE	BP	BMM	CH	MX	PL	PZ	SAP	SBC	SMS		VP	ZU					
PICIFORMES	Picidae	Picinae	<i>Colaptes auratus</i>		RB			LC	X														X				
			<i>Dryocopus lineatus</i>		RB					LC		X						X	X	X					X X		
			<i>Campephilus guatemalensis</i>		RB	Pr				LC		X	X				X	X	X		X				X X		
PASSERIFORMES	Furnariidae	Furnariinae	<i>Automolus rubiginosus</i>		RB	A		LC			X																
			<i>Sittasomus griseicapillus</i>		RB				LC	X	X	X				X	X	X							X X		
			<i>Xiphocolaptes promeropirhynchus</i>		RB					LC	X															X	
		Dendrocolaptinae	<i>Xiphorhynchus flavigaster</i>		RB					LC	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X				X X X	
			<i>Xiphorhynchus erythropygius</i>		RB	A				LC	X	X	X													X X	
			<i>Lepidocolaptes affinis</i>		RB					LC	X	X	X		X		X	X	X		X					X X X	
			Thamnophilidae	<i>Thamnophilus doliatus</i>		RB					LC	X	X	X				X	X		X						X X
				<i>Camptostoma imberbe</i>		RB					LC	X			X					X		X					X X
				<i>Myiopagis viridicata</i>		RB					LC	X	X					X									X X
			Elaeniinae	<i>Mionectes oleagineus</i>		RB					LC	X		X			X	X									X X X
	<i>Mitrephanes phaeocercus</i>			RB					LC	X		X													X		
	<i>Contopus cooperi</i>			T					NT	X						X									X		
	<i>Contopus pertinax</i>			RB					LC	X	X	X			X	X	X		X	X					X X		
	<i>Contopus sordidulus</i>			SR-T					LC	X	X	X		X		X			X	X					X X		
	<i>Empidonax flaviventris</i>			WV					LC								X								X X		
	<i>Empidonax minimus</i>			WV-T					LC		X			X	X	X	X	X	X	X	X	X			X X		
	<i>Empidonax hammondii</i>			WV-T					LC								X										
	<i>Empidonax wrightii</i>	S		WV					LC	X																	
	<i>Empidonax oberholseri</i>	S		WV					LC		X																
	Tyrannidae	<i>Empidonax occidentalis</i>	S	RB					LC	X		X				X									X X X		
		<i>Sayornis nigricans</i>		RB					LC	X	X	X		X		X	X	X		X					X X X		
		<i>Sayornis phoebe</i>		WV					LC	X	X	X				X	X	X		X					X X		
		<i>Sayornis saya</i>		RB-WV					LC	X		X													X		
		<i>Pyrocephalus rubinus</i>		RB-WV					LC	X		X		X	X	X		X	X	X	X	X			X X		
		<i>Myiarchus tuberculifer</i>		RB					LC	X	X	X		X		X		X		X					X X		
		<i>Myiarchus cinerascens</i>		SR-WV					LC					X		X	X			X					X X X		
		<i>Myiarchus nuttingi</i>		RB					LC					X	X										X		
		<i>Myiarchus crinitus</i>		T					LC	X	X				X	X		X	X	X	X				X X X		
		<i>Pitangus sulphuratus</i>		RB					LC	X	X				X	X	X	X	X						X X		
		<i>Megarynchus pitangua</i>		RB					LC	X	X	X			X	X	X		X						X X		
<i>Myiozetetes similis</i>			RB					LC	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X			X X			

ANEXO 1. LISTA SISTEMÁTICA DE LAS AVES DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL POTOSINA

ORDEN	FAMILIA	SUBFAMILIA	ESPECIE	ENDEMIISMO	ESTACIONALIDAD	RIESGO			TIPOS DE VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO											MODELOS						
						NOM059	CITES	IUCN	AG	BE	BP	BMM	CH	MX	PL	PZ	SAP	SBC	SMS		VP	ZU				
PASSERIFORMES	Tyrannidae	Tyranninae	<i>Myiodynastes maculatus</i>		SR		LC	X	X	X					X	X			X	X	X					
			<i>Myiodynastes luteiventris</i>		SR		LC	X	X	X	X					X			X	X		X	X			
			<i>Legatus leucophaeus</i>		SR		LC	X	X					X									X			
			<i>Tyrannus melancholicus</i>		RB		LC	X	X					X	X								X	X	X	
			<i>Tyrannus couchii</i>		RB		LC	X	X						X				X				X	X		
			<i>Tyrannus vociferans</i>	S	RB-SR		LC		X														X			
		<i>Tyrannus tyrannus</i>		T		LC												X								
		<i>Pachyramphus major</i>		RB		LC	X	X			X		X		X							X	X	X		
		<i>Pachyramphus aglaiae</i>		RB		LC	X	X						X	X	X	X	X				X	X	X		
		<i>Tityra semifasciata</i>		RB		LC	X	X	X					X	X		X	X				X	X	X		
	<i>Tityra inquisitor</i>		RB		LC	X																				
	Laniidae			<i>Lanius ludovicianus</i>		RB-WV		LC		X																
	Vireonidae			<i>Vireo griseus</i>		RB		LC	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
				<i>Vireo bellii</i>		T		NT	X													X	X	X		
				<i>Vireo flavifrons</i>		WV		LC											X							
				<i>Vireo solitarius</i>		WV		LC	X	X			X			X	X			X				X	X	
				<i>Vireo huttoni</i>		RB		LC	X	X			X			X								X	X	
				<i>Vireo gilvus</i>		WV-T		LC		X						X								X	X	
				<i>Vireo leucophrys</i>		RB		LC	X																	
				<i>Vireo olivaceus</i>		T		LC	X	X										X	X			X		
				<i>Vireo flavoviridis</i>		SR		LC	X	X						X	X							X	X	
				<i>Cyclarhis gujanensis</i>		RB		LC	X	X	X					X	X							X	X	X
				Corvidae			<i>Cyanolyca cucullata</i>		RB		LC	X														
							<i>Psilorhinus morio</i>		RB	A	LC	X	X		X			X	X	X	X	X				X
	<i>Cyanocorax yncas</i>		RB					LC	X	X			X		X	X	X	X	X				X	X		
	<i>Cyanocitta stelleri</i>		RB					LC	X																	
	<i>Aphelocoma ultramarina</i>	E	RB					LC	X	X			X		X	X							X	X	X	
	<i>Corvus imparatus</i>	E	RB					LC	X														X		X	
	<i>Corvus corax</i>		RB					LC	X	X			X				X							X	X	
	Hirudinidae	Hirundininae	<i>Progne chalybea</i>		SR		LC		X																	
			<i>Tachycineta albilinea</i>		RB		LC										X									
			<i>Stelgidopteryx serripennis</i>		RB-T		LC	X	X						X		X	X				X	X			
<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>				SR-T		LC		X	X					X								X				
Paridae			<i>Baeolophus wollweberi</i>		RB		LC	X	X			X								X	X	X				

ANEXO 1. LISTA SISTEMÁTICA DE LAS AVES DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL POTOSINA

ORDEN	FAMILIA	SUBFAMILIA	ESPECIE	ENDESMISMO	ESTACIONALIDAD	RIESGO			TIPOS DE VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO											MODELOS						
						NOM059	CITES	IUCN	AG	BE	BP	BMM	CH	MX	PL	PZ	SAP	SBC	SMS		VP	ZU				
PASSERIFORMES	Mimidae		<i>Mimus polyglottos</i>		RB			LC	X	X						X	X			X	X					
			<i>Toxostoma longirostre</i>	Q	RB			LC		X	X							X	X			X	X	X		
			<i>Toxostoma curvirostre</i>		RB				LC	X	X			X			X					X		X	X	X
			<i>Melanotis caerulescens</i>	E	RB				LC	X	X	X				X	X				X			X	X	X
	Motacillidae		<i>Anthus rubescens</i>		WV	Pr		LC	X				X										X			
			<i>Anthus spragueii</i>		WV			VU	X															X		
	Bombycillidae		<i>Bombycilla cedrorum</i>		WV			LC	X	X	X						X							X		
	Ptiligonatidae		<i>Ptilogonys cinereus</i>	Q	RB			LC	X		X													X		
			<i>Vermivora cyanoptera</i>		WV			LC	X																	
			<i>Vermivora chrysoptera</i>		T			NT								X										
			<i>Oreothlypis celata</i>		WV			LC	X	X	X		X		X	X	X				X			X	X	
			<i>Oreothlypis ruficapilla</i>		WV-T			LC	X	X	X		X		X		X	X		X				X	X	X
			<i>Oreothlypis superciliosa</i>		RB			LC	X	X					X									X		
			<i>Parula pitiayumi</i>		RB			LC	X	X					X	X		X					X		X	X
			<i>Dendroica petechia</i>		WV-T			LC	X																	
			<i>Dendroica coronata</i>		WV			LC	X	X	X						X							X		
			<i>Dendroica nigrescens</i>	S	WV			LC	X	X														X		
			<i>Dendroica virens</i>		WV			LC	X	X	X				X	X		X						X	X	X
			<i>Dendroica townsendi</i>		WV-T			LC	X	X	X		X											X	X	
			<i>Dendroica occidentalis</i>		WV-T			LC	X	X														X		
			<i>Dendroica fusca</i>		T			LC			X															
			<i>Dendroica dominica</i>		WV			LC															X			
			<i>Dendroica castanea</i>		T			LC						X												
			<i>Mniotilta varia</i>		WV			LC	X	X			X		X	X								X	X	X
			<i>Setophaga ruticilla</i>		T			LC	X																	
			<i>Helmitheros vermivorum</i>		T			LC	X																	
			<i>Seiurus aurocapilla</i>		WV			LC	X	X							X							X		
			<i>Parkesia noveboracensis</i>		WV-T			LC	X															X		
			<i>Parkesia motacilla</i>		WV			LC	X		X				X						X			X	X	X
			<i>Oporornis philadelphia</i>		T			LC	X																	
			<i>Oporornis tolmiei</i>		WV-T			LC	X																	
			<i>Geothlypis trichas</i>		RB	A		LC	X	X				X						X	X			X	X	
			<i>Geothlypis flavovelata</i>	E	RB			VU		X																
		<i>Geothlypis nelsoni</i>	E	RB	P		LC		X														X	X	X	

ANEXO 1. LISTA SISTEMÁTICA DE LAS AVES DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL POTOSINA

ORDEN	FAMILIA	SUBFAMILIA	ESPECIE	ENDEMIISMO	ESTACIONALIDAD	RIESGO			TIPOS DE VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO											MODELOS								
						NOM059	CITES	IUCN	AG	BE	BP	BMM	CH	MX	PL	PZ	SAP	SBC	SMS		VP	ZU						
PASSERIFORMES	Parulidae		<i>Geothlypis poliocephala</i>		RB		LC	X	X	X					X	X		X							X			
			<i>Wilsonia citrina</i>		WV-T		LC	X																				
			<i>Wilsonia pusilla</i>		WV		LC	X	X	X			X		X		X	X		X			X			X	X	
			<i>Wilsonia canadensis</i>		T		LC	X																				
			<i>Cardellina rubrifrons</i>		RB		LC	X																				
			<i>Myioborus pictus</i>		RB-SR		LC	X									X									X		
			<i>Myioborus miniatus</i>		RB		LC	X																				
			<i>Euthlypis lachrymosa</i>		RB		LC	X	X	X					X	X	X	X	X		X					X	X	
			<i>Basileuterus culicivorus</i>		RB		LC	X	X	X					X	X	X	X	X		X				X	X	X	
			<i>Basileuterus rufifrons</i>	Q	RB		LC	X	X	X			X		X	X	X									X	X	
			<i>Basileuterus belli</i>		RB		LC	X	X	X							X									X	X	
			<i>Icteria virens</i>		WV-T		LC	X	X						X	X				X						X	X	
			Thraupidae			<i>Chlorospingus ophthalmicus</i>		RB		LC	X		X				X									X	X	X
	<i>Thraupis episcopus</i>					RB		LC							X											X		
	<i>Thraupis abbas</i>					RB		LC	X	X	X					X	X								X	X	X	
	<i>Cyanerpes cyaneus</i>					SR		LC	X		X										X					X		
	<i>Saltator coerulescens</i>					RB		LC	X	X	X						X				X					X	X	X
	Incertae sedis	Genera INCERTAE SEDIS	<i>Saltator atriceps</i>		RB		LC	X	X	X				X	X				X					X	X			
			<i>Volatinia jacarina</i>		RB		LC	X		X				X	X		X	X		X				X	X	X		
	Emberizidae			<i>Sporophila torqueola</i>		RB		LC	X	X				X	X	X	X	X	X					X	X	X		
				<i>Tiaris olivaceus</i>		RB		LC	X	X								X	X		X	X	X		X	X	X	
				<i>Arremon brunneinucha</i>		RB		LC	X		X					X	X									X	X	X
				<i>Arremonops rufivirgatus</i>	Q	RB		LC	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X				X	X	X
				<i>Atlapetes albinucha</i>	E	RB		LC	X		X															X		
				<i>Atlapetes pileatus</i>	E	RB		LC	X	X	X							X								X	X	X
				<i>Pipilo maculatus</i>		RB		LC	X		X					X									X	X	X	
				<i>Aimophila rufescens</i>		RB		LC	X	X	X						X									X	X	X
				<i>Aimophila ruficeps</i>		RB		LC	X					X												X		
				<i>Melospiza fusca</i>		RB		LC	X				X	X		X	X								X	X	X	X
				<i>Peucaea botterii</i>		RB		LC							X											X		
				<i>Peucaea cassinii</i>		RB-WV		LC	X																			
				<i>Spizella passerina</i>		RB-WV		LC	X	X				X		X										X	X	
				<i>Spizella pallida</i>	S	WV		LC	X	X						X										X	X	
<i>Spizella breweri</i>					WV		LC	X																				

ANEXO 1. LISTA SISTEMÁTICA DE LAS AVES DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL POTOSINA

ORDEN	FAMILIA	SUBFAMILIA	ESPECIE	ENDESMISMO	ESTACIONALIDAD	RIESGO			TIPOS DE VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO											MODELOS								
						NOM059	CITES	IUCN	AG	BE	BP	BMM	CH	MX	PL	PZ	SAP	SBC	SMS		VP	ZU						
PASSERIFORMES	Emberizidae		<i>Poocetes gramineus</i>		WV			LC	X	X																X		
			<i>Chondestes grammacus</i>		RB-WV			LC		X			X														X X X	
			<i>Amphispiza bilineata</i>		RB				LC			X														X		
			<i>Passerculus sandwichensis</i>		WV				LC	X																		
			<i>Ammodramus savannarum</i>		WV	A			LC		X			X		X	X									X		X X X
			<i>Melospiza lincolni</i>		WV				LC	X	X	X						X	X						X			X X
			<i>Zonotrichia leucophrys</i>		WV				LC	X	X																	X
			<i>Junco phaeonotus</i>	Q	RB				LC	X								X										X
			<i>Piranga flava</i>		RB				LC	X	X	X		X				X	X					X				X X X
		<i>Piranga rubra</i>		WV-T				LC	X	X	X						X	X					X				X X	
		<i>Piranga ludoviciana</i>		WV-T				LC	X	X			X				X	X									X X	
		<i>Piranga bidentata</i>		RB				LC	X	X	X					X	X	X									X X X	
		<i>Piranga leucoptera</i>		RB				LC	X	X	X					X	X						X				X X X	
		<i>Habia rubica</i>		RB				LC	X		X					X	X					X					X	
		<i>Habia fuscicauda</i>		RB				LC	X	X	X					X	X	X	X	X							X X X	
		<i>Rhodothraupis celaeno</i>	E	RB				LC	X							X	X					X	X				X X	
		<i>Cardinalis cardinalis</i>		RB				LC	X				X			X	X	X	X	X							X X	
		<i>Cardinalis sinuatus</i>		RB				LC															X					
		<i>Pheucticus ludovicianus</i>		WV				LC	X		X					X	X										X X X	
		<i>Pheucticus melanocephalus</i>	S	RB				LC	X	X			X			X	X	X									X X	
		<i>Cyanococcyz parellina</i>		RB				LC	X	X	X					X	X		X	X	X						X X X	
		<i>Passerina caerulea</i>		RB-SR				LC	X	X	X		X			X	X		X								X	
		<i>Passerina cyanea</i>		WV				LC	X	X	X					X							X				X X X	
		<i>Passerina versicolor</i>	S	RB-SR				LC	X	X	X		X	X									X				X X	
		<i>Passerina ciris</i>		WV-T				NT	X	X	X		X										X				X X X	
		Icteridae		<i>Agelaius phoeniceus</i>		RB	Pr	LC															X					
			<i>Sturnella magna</i>		RB			LC	X								X	X									X	
			<i>Dives dives</i>		RB				LC	X	X	X					X	X	X	X	X							X X X
			<i>Euphagus cyanocephalus</i>		WV				LC															X				
			<i>Quiscalus mexicanus</i>		RB				LC	X	X	X					X	X	X									X X X
			<i>Molothrus aeneus</i>		RB				LC	X	X	X		X	X		X	X	X									X X
			<i>Molothrus ater</i>		RB				LC															X				
	<i>Icterus wagleri</i>			RB				LC			X		X														X	
	<i>Icterus spurius</i>			SR-T				LC								X											X	

ANEXO 1. LISTA SISTEMÁTICA DE LAS AVES DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL POTOSINA

ORDEN	FAMILIA	SUBFAMILIA	ESPECIE	ENDESMISMO	ESTACIONALIDAD	RIESGO			TIPOS DE VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO											MODELOS						
						NOM059	CITES	IUCN	AG	BE	BP	BMM	CH	MX	PL	PZ	SAP	SBC	SMS		VP	ZU				
PASSERIFORMES	Icteridae		<i>Icterus cucullatus</i>		RB		LC	X	X	X						X	X	X	X	X	X	X	X	X		
			<i>Icterus gularis</i>		RB		LC	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
			<i>Icterus graduacauda</i>	Q	RB		LC	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			<i>Icterus galbula</i>		WV-T		LC	X		X				X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			<i>Icterus parisorum</i>	S	RB		LC	X		X				X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
			<i>Amblycercus holosericeus</i>		RB		LC	X	X	X				X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		<i>Psarocolius montezuma</i>		RB		LC	X		X						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		<i>Euphonia affinis</i>		RB	Pr	LC	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		<i>Euphonia hirundinacea</i>	Euphoniinae	RB		LC	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		<i>Euphonia elegantissima</i>		RB		LC	X	X	X						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		<i>Carpodacus mexicanus</i>		RB		LC					X															X
		<i>Spinus pinus</i>		WV		LC	X		X					X												X
		<i>Spinus notatus</i>		RB		LC	X	X	X																	X
		<i>Spinus psaltria</i>		RB-WV		LC	X	X	X		X			X						X						X
		<i>Spinus tristis</i>		WV		LC	X		X											X						X
	<i>Coccothraustes abeillei</i>	Q	RB		LC	X	X	X																	X	