

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT  
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT  
  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS

**DISTRIBUCIÓN ALTITUDINAL DE LAS AVES EN UNA ZONA MONTAÑOSA AL  
SUR DE NAYARIT**

**NIDIA GISELL JAIME ESCALANTE**

Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de:  
Maestría en Ciencias en el Área de Ciencias Ambientales

Xalisco, Nayarit. Noviembre, 2015



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT**  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS**

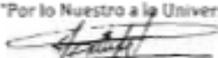
CBAP/249/15.

Xalisco, Nayarit, 12 de noviembre de 2015.

**ING. ALFREDO GONZÁLEZ JÁUREGUI**  
**DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR**  
**PRESENTE.**

Con base al oficio de fecha 11 de noviembre del presente, enviado por los CC. Dra. Elsa Margarita Figueroa Esquivel, Dr. José Fernando Villaseñor Gómez y Dr. Fernando Puebla Olivares, donde se indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha cumplido con los demás requisitos que solicita el Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias; dependiente de la Universidad Autónoma de Nayarit, se autoriza a la C. Nidia Gisell Jaime Escalante, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias en el Área de Ciencias Ambientales.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente  
"Por lo Nuestro a lo Universal"  
  
Dr. Diego García Paredes  
Coordinador del Posgrado



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE NAYARIT  
INTEGRACIÓN EN  
CIENCIAS BIOLÓGICO  
AGROPECUARIAS

C.c.p.- Expediente

Baen

Xalisco, Nayarit, 11 de noviembre de 2015

**DR. J. DIEGO GARCÍA PAREDES**  
**COORDINADOR DEL POSGRADO (CBAP)**  
**P R E S E N T E**

Los suscritos integrantes del Cuerpo Tutorial para asesorar la Tesis titulada: Distribución altitudinal de las aves en una zona montañosa al sur de Nayarit, que presenta la C. Nidia Gisell Jaime Escalante para obtener el Grado de Maestría en Ciencias con opción terminal en Ciencias Ambientales, damos nuestra aprobación para que continúe con los trámites correspondientes para la obtención de su grado.

Sin otro asunto que tratar, recibe un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**



\_\_\_\_\_  
Dra. Elsa Margarita Figueroa Esquivel  
Directora



\_\_\_\_\_  
Dr. José Fernando Villaseñor Gómez  
Asesor



\_\_\_\_\_  
Dr. Fernando Puebla Olivares  
Asesor

## DEDICATORIA

Quiero dedicar mi tesis a todas aquellas personas que de alguna u otra forma me ayudaron de forma generosa e incondicional en el transcurso de este demandante proceso. Se las dedico como una muestra de mi agradecimiento, pero también como una manera de disculparme por todo el tiempo valioso que dejé de compartir con ellas.

### **A mi papá y a mi mamá**

Sé que les parece rara mi carrera, eso de "andar por los cerros viendo pájaros" imagino que debe parecerles extraño, de manera que, entre muchas otras cosas, especialmente les agradezco que hayan confiado en mí y me hayan permitido realizar todas las actividades que fueron necesarias.

### **A mis hermanos**

Sé que mis salidas a campo así como mis múltiples ocupaciones académicas les costó trabajo hogareño extra, y sé que además me perdí muchas reuniones y salidas familiares con ustedes, de manera que no puedo hacer más que agradecerles por haber resistido estos dos años. De forma especial agradezco a mi "pequeñín" por cuidar a mis pajaritos.

### **A Edwin**

Alguna vez escuché que ésta era la parte donde yo podía dedicarte todos los "abrazos y besos" que yo quisiera, como una muestra de agradecimiento por el apoyo que me brindaste. Sin embargo, no es esa la forma en la que yo pretendo agradecer todo tu trabajo y esfuerzo. Me acompañaste en el transcurso de este proceso desde inicio a fin, desde trámites administrativos y salidas al campo hasta trabajo de gabinete; siento mucho que tu trabajo no se haya reflejado de la forma en que merecías.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCyT) por la beca 292953 y al Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Nayarit.

A mi directora de tesis la Dra. Elsa Margarita Figueroa Esquivel por haber sido en un inicio mi maestra en el área de la Ornitología y por brindarme después la oportunidad de realizar un Posgrado. Agradezco todas las ideas, revisiones, comentarios y sugerencias que me permitieron elaborar y finalmente terminar la tesis.

A mis asesores, los Dres. Fernando Puebla Olivares y José Fernando Villaseñor Gómez, también por todas las ideas, revisiones, comentarios y sugerencias sobre mi manuscrito. Agradezco además su ayuda en enseñarme a utilizar algunos análisis que fueron indispensables para la elaboración de mi proyecto de tesis.

Mi más sincero agradecimiento a mis compañeros Karina González, Yoseelín Flores, Xóchitl Díaz, Javier Paniagua, Lidiana Ortega, Janitce Salcedo y Jonathan Vargas por haber compartido conmigo tanto experiencias en campo como en el aula.

Finalmente, un agradecimiento muy especial a las personas que me ayudaron de una u otra forma en el trabajo de campo: al señor Francisco Villa y a su esposa Luz Victoria Meda por su hospitalidad y por ayudarme como guías locales por los caminos de Rancho Vallejo. A Don Cande por ayudarme como guía en el camino al Porvenir, y gracias a su familia por ser tan amables conmigo. A Don Fermín González por hospedarme en su rancho "El Abejonero", y por los consejos sobre las precauciones con las "guinas venaderas". Al señor Francisco García por guiarme para finalmente llegar al "Cerro Negro", a su hijo Raúl García y a la señora Marisela por su hospitalidad, su amabilidad, su interés e incluso su preocupación sobre mi trabajo en campo. Al Presidente del Comisariado Ejidal de Compostela, el Ing. Jesús Ignacio Muñoz por permitirme realizar mis muestreos en una zona restringida del municipio. Al Presidente del Comisariado Ejidal de Rosa Blanca, el señor Ramón Santana por brindarme hospedaje en el Comisariado, y a Candelario Hernández por ayudarme como guía local. A Jairo Castañeda y a su familia por toda la ayuda que me brindaron, por su hospitalidad, por ayudarme como guías locales en la sierra de la Yesca, por invitarme a comer, por las historias que me platicaron, por preocuparse por mi seguridad, pero sobre todo gracias por ayudarme desinteresadamente.

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| <b>INTRODUCCIÓN</b> . . . . .  | 1  |
| <b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> . . . . .  | 4  |
| <b>Marco teórico</b> . . . . .   | 4  |
| <b>Patrones de distribución altitudinal en aves</b> . . . . .  | 4  |
| <i>La riqueza disminuye linealmente con el aumento de la elevación</i> . . . . .   | 4  |
| <i>La riqueza es máxima y constante en las partes bajas, y entonces disminuye linealmente con la elevación.</i> . . . . .                            | 5  |
| <i>La riqueza es alta en las partes bajas, alcanza su máximo a mitad del gradiente, y entonces disminuye linealmente con la elevación.</i> . . . . . | 6  |
| <i>La riqueza es máxima a mitad del gradiente y disminuye hacia las partes bajas y altas</i> . . . . .   | 7  |
| <b>Factores que modelan la distribución de las especies de aves.</b> . . . . .   | 8  |
| <i>Espacio</i> . . . . .   | 8  |
| <i>Clima</i> . . . . .   | 10 |
| <i>Factores bióticos.</i> . . . . .  | 14 |
| <i>Historia evolutiva.</i> . . . . .   | 17 |
| <b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> . . . . .   | 20 |
| Objetivo general . . . . .   | 20 |
| Objetivos particulares . . . . .   | 20 |
| Hipótesis . . . . .  | 20 |
| <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> . . . . .  | 21 |
| <b>Área de estudio</b> . . . . .   | 21 |
| <i>Ubicación geográfica</i> . . . . .  | 21 |
| <i>Fisiografía</i> . . . . .   | 21 |
| <i>Climas</i> . . . . .  | 23 |
| <i>Hidrología</i> . . . . .  | 24 |
| <i>Vegetación.</i> . . . . .   | 24 |
| <b>Muestreo de la avifauna</b> . . . . .   | 25 |
| <b>Muestreo de la vegetación</b> . . . . .   | 28 |
| <b>Análisis de datos.</b> . . . . .  | 29 |

|   |    |
|---|----|
| <i>Completitud del esfuerzo de muestreo</i> . . . . .   | 29 |
| <i>Expectación estadística de la riqueza de especies</i> . . . . .                                  | 30 |
| <i>Árboles de regresión</i> . . . . .   | 30 |
| <i>Análisis de clasificación por elevación y tipo de vegetación</i> . . . . .                       | 32 |
| <b>RESULTADOS</b> . . . . .   | 34 |
| <b>Completitud del esfuerzo de muestreo</b> . . . . .   | 34 |
| <b>Comportamiento de la riqueza de especies con la elevación</b> . . . . .                          | 35 |
| <b>Variables que influyen en la riqueza de especies</b> . . . . .                                   | 36 |
| <b>Agrupaciones avifaunísticas en relación con la elevación</b> . . . . .                           | 38 |
| <b>Agrupaciones avifaunísticas en relación con la vegetación</b> . . . . .                          | 40 |
| <b>DISCUSIÓN</b> . . . . .  | 42 |
| <b>Riqueza y endemismo</b> . . . . .  | 42 |
| <b>Comportamiento de la riqueza de especies con la elevación y variables responsables</b> . . . . . | 42 |
| <b>Agrupaciones avifaunísticas en relación con la elevación y variables responsables</b> . . . . .  | 45 |
| <b>Importancia del sur de Nayarit para la conservación</b> . . . . .                                | 47 |
| <b>CONCLUSIONES</b> . . . . .   | 49 |
| <b>LITERATURA CITADA</b> . . . . .  | 50 |
| <b>Apéndice A</b> . . . . .   | 63 |
| <b>Apéndice B</b> . . . . .   | 75 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 1. Características generales del área de estudio y esfuerzo de muestreo . . . . .     | 25 |
| Cuadro 2. Procedencia de los registros empleados en cada análisis . . . . .                  | 29 |
| Cuadro 3. Descripción de las variables utilizadas en el estudio . . . . .                    | 32 |
| Cuadro 4. Estimación de la riqueza de especies por intervalo y para el gradiente altitudinal | 34 |
| Cuadro 5. Especies exclusivas y especies asociadas de cada piso altitudinal . . . . .        | 40 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación del estado de Nayarit y municipios muestreados . . . . .                    | 22 |
| Figura 2. Gradiente altitudinal analizado y procedencia de cada registro . . . . .              | 26 |
| Figura 3. Curva suavizada de acumulación de especies basada en muestras. . . . .                | 35 |
| Figura 4. Expectación estadística de la riqueza de especies por intervalo altitudinal . . . . . | 36 |
| Figura 5. Árbol de regresión . . . . .  | 37 |
| Figura 6. Pisos altitudinales según el índice de similitud de Jaccard . . . . .                 | 39 |
| Figura 7. Pisos altitudinales de acuerdo al análisis TWINSpan . . . . .                         | 39 |
| Figura 8. Grupos de vegetación de acuerdo al análisis TWINSpan . . . . .                        | 41 |

## INTRODUCCIÓN

Siempre han existido en el ser humano el interés y la necesidad por comprender la forma en que están distribuidas las especies (Navarro, 1989), así como las causas y mecanismos que han moldeado su distribución (Navarro y Sánchez-González, 2002). Desde sus primeras exploraciones, los naturalistas observaron que los seres vivos no se encuentran homogéneamente distribuidos, y que contrario a esto, la riqueza de especies se comporta siguiendo patrones de distribución (Gaston, 2000; Navarro y Sánchez-González, 2002; Gaston y Spicer, 2004; Koleff *et al.*, 2008).

Uno de los primeros patrones de distribución observados fue el cambio de la riqueza de especies con respecto a su posición altitudinal, donde el número de especies disminuye conforme aumenta la elevación (Llorente *et al.*, 2000; Lomolino, 2001; McCain y Grytnes, 2010). No obstante, este patrón se aceptó hasta que John Terborgh y colaboradores realizaron un estudio sobre la distribución de aves en un gradiente altitudinal de los Andes Peruanos (Terborgh y Weske, 1975; Terborgh, 1977). Durante las siguientes dos décadas, la relación lineal e inversa entre el número de especies y la elevación se convirtió en un patrón asumido tanto para el grupo de las aves, como para otros grupos taxonómicos (Lomolino, 2001). Sin embargo, surgió un nuevo debate cuando a través de una extensa revisión, Rahbek (1995) encontró que el patrón observado era más bien el resultado del enfoque metodológico, pues los estudios que lo reportaban no consideraban el efecto del área en su análisis.

La hipótesis de la relación especies-área establece que conforme aumente el tamaño del área de estudio, aumentará el número de especies que se pueden encontrar (Rosenzweig, 1995; Sizing *et al.*, 2011). Los sistemas montañosos, caracterizados por la reducción gradual de área conforme aumenta la elevación, son ejemplos claros en los que se puede observar el efecto del área en la riqueza de especies (Körner, 2000). Así, Rahbek (1995) argumentó que el patrón de disminución lineal de la riqueza era la expresión del efecto del área, y que si este efecto era considerado, el patrón observado era el de riqueza máxima en elevaciones medias. Explicó este patrón argumentando que en las montañas los factores abióticos no necesariamente disminuían linealmente con la elevación, y por el contrario, variables como la precipitación, tendían a aumentar en diversas áreas del gradiente, influyendo en ciertas taxa como las plantas, que a

su vez tienen un efecto sobre otros grupos taxonómicos en términos de recursos de hábitat o alimento.

El creciente número de investigaciones sobre la distribución altitudinal de los organismos ha revelado que la riqueza de especies puede comportarse de acuerdo a cuatro patrones altitudinales: (a) la riqueza disminuye linealmente con el aumento de la elevación (principalmente en mamíferos, aves, y reptiles); (b) la riqueza es máxima a través de una meseta de bajas elevaciones y entonces disminuye linealmente con la elevación (principalmente en aves y reptiles); (c) la riqueza es alta en bajas elevaciones, es máxima a mitad del gradiente, y entonces disminuye linealmente con la elevación (principalmente en aves); (d) la riqueza es máxima a mitad del gradiente (principalmente mamíferos y plantas); (Rahbek, 1995; McCain, 2009; McCain y Grytnes, 2010). La frecuencia con la que se presenta cada patrón varía de acuerdo al grupo taxonómico estudiado y a los factores y procesos que están involucrados (McCain y Grytnes, 2010), por lo que aún no existe un consenso general sobre cómo se comporta la riqueza de especies a través de gradientes altitudinales (Herzog *et al.*, 2005).

La relevancia de esclarecer esta relación radica en que podría ayudar a explicar los procesos que causan el patrón observado (Kattan y Franco, 2004). Existe una amplia gama de estudios que proponen diversos factores como los posibles responsables de moldear la distribución de las especies en los gradientes altitudinales: área (Kattan y Franco, 2004); temperatura (Hahn *et al.*, 2004); calentamiento global (Peh, 2007); precipitación (Hawkins, 1999); productividad (Hart *et al.*, 2011); ecotono (Medina-Macias *et al.*, 2010); estructura y composición de la vegetación (Lee y Rotenberry, 2005); exclusión competitiva (Politi y Rivera, 2005); e historia evolutiva (Cadena *et al.*, 2012). Estos factores pueden incluirse en cuatro grupos principales: espacio, clima, factores bióticos e historia evolutiva (Pianka, 1966; Gaston, 2000; McCain, 2007b).

Actualmente, el acelerado ritmo al que se pierde la biodiversidad (Navarro y Sánchez-González, 2002; Diéguez-Urbeondo *et al.*, 2011) ha evidenciado la necesidad por comprender los patrones y factores que determinan la distribución de las especies, con el fin de diseñar las estrategias convenientes para su conservación (Escalante *et al.*, 1998). Los estudios altitudinales permiten examinar la riqueza y composición de las especies a través de los gradientes y sus tasas de recambio entre hábitats; esto hace posible obtener información como las variables ambientales

que limitan su distribución, factores que definen la estructura de sus comunidades y aspectos de su biogeografía, que podrían servir como herramientas para el diseño de estrategias para su conservación (Navarro, 1992; Young *et al.*, 1998; Blake y Loiselle, 2000; Lee y Rotenberry, 2005; Guerrero y Sarmiento, 2010; Medina-Macias *et al.*, 2010; Altamirano *et al.*, 2011). Esta necesidad es mayor para áreas con alto número de endemismos, donde la pérdida de especies endémicas se traduce en extinciones globales (Forey *et al.*, 1994).

Diversas investigaciones sobre gradientes altitudinales que han aportado información relevante para la conservación de las especies, han utilizado a las aves como grupo de estudio (Thiollay, 1991; Navarro, 1992; Young *et al.*, 1998; Hawkins, 1999; Blake y Loiselle, 2000; Chaves-Campos, 2003; Latta *et al.*, 2003; Lee y Rotenberry, 2005; Politi y Rivera, 2005; Peh, 2007; Jankowski *et al.*, 2009; Medina-Macias *et al.*, 2010; Hart *et al.*, 2011). Las comunidades de aves son conocidas por ser sensibles a las perturbaciones de hábitat, y debido a que son un grupo bien estudiado tanto taxonómica como biogeográficamente, se han utilizado como modelo en los análisis de gradientes altitudinales, aportando información relevante para su conservación y la de otras especies (Stotz *et al.*, 1996).

Por lo anterior, este trabajo tiene como objetivo determinar el patrón de distribución de las aves en un gradiente altitudinal al sur de Nayarit, México, así como los factores que más influyen en moldear su distribución.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Marco teórico

Actualmente se reconoce que la riqueza de especies puede comportarse de acuerdo a cuatro patrones altitudinales; la predominancia de cada patrón está fuertemente vinculada con el taxón estudiado, y en el grupo de las aves, los cuatro patrones se han presentado en frecuencias muy similares (McCain, 2009).

No obstante, la riqueza de especies no necesariamente responde de forma directa al gradiente altitudinal, sino a múltiples factores que al correlacionarse con el gradiente afectan de forma sinérgica la forma en que se distribuyen las especies (Terborgh, 1977; Brown, 2001; Kattan y Franco, 2004). Actualmente se han encontrado una gran variedad de factores que influyen en la distribución de las especies a través de gradientes altitudinales y algunos autores han propuesto categorías resumidas para agruparlos (Pianka, 1966; Gaston, 2000; McCain, 2007b).

A continuación se presenta una revisión de literatura donde se documentan los distintos patrones de distribución altitudinal en aves, así como los factores que se ha propuesto modelan la distribución de estas especies.

### Patrones de distribución altitudinal en aves

#### *(a) La riqueza disminuye linealmente con el aumento de la elevación*

De acuerdo con McCain (2009) este es el patrón más observado en el grupo de las aves y fue el primero en ser demostrado por Terborgh y Weske (1975) y Terborgh (1977). Posteriormente, varios estudios reportaron este patrón en estudios avifaunísticos. Un ejemplo notable es el estudio que Navarro (1992) realizó en la Sierra Madre del Sur, Guerrero, México, a través de un gradiente altitudinal de 620 a 3100 msnm. Encontró que la riqueza de especies es mayor en el intervalo más bajo (compuesto por bosque tropical subcaducifolio, 620-1200 m), es menor y constante en altitudes intermedias, (bosque mesófilo de montaña, 1200-2500 m, y bosque de pino-encino, 2500-3000 m) y menor en la zona más alta, (bosque de abetos, 3000-3100 m). Concluyo que la vegetación es el factor que estructura la comunidad, debido a que las zonas de mayor recambio de especies coinciden con los ecotonos entre tipos de vegetación.

Otro ejemplo es el trabajo de Young *et al.* (1998) desarrollado en las montañas de Tilarán, Costa Rica, cuyo objetivo fue determinar el comportamiento de la riqueza de especies a través del gradiente, e identificar cómo se distribuían especies con diferentes grados de amenaza. Encontraron que la riqueza de especies es mayor en las zonas bajas (700 m), y disminuye conforme aumenta la elevación (1700 m), que las especies amenazadas se encontraron principalmente en la parte baja del gradiente, y que muchas especies realizan desplazamientos hacia las partes bajas. Concluyeron que las reservas de la zona deberían extenderse hacia las partes bajas del gradiente, a fin de tener mayor éxito en los esfuerzos por conservación.

Por su parte, Martínez y Rechberger (2007) realizaron un estudio en el Parque Nacional y Área de Manejo Integrado Cotapata, Bolivia, utilizando puntos de conteo y redes de niebla en sitios de bosque nublado secundario (1850 m), bosque nublado (2620 m) y ceja de monte (3170 m). Registraron que el bosque nublado secundario fue el más rico en especies y que la ceja de monte fue el menos diverso. Los autores concluyeron que los cambios en la composición de las comunidades a lo largo del gradiente reflejan cambios en los tipos de recursos presentes, pues las especies de distintos gremios alimenticios son más comunes en la parte del gradiente donde se encuentra su alimento.

*(b) La riqueza es máxima a través de una meseta de bajas elevaciones y entonces disminuye linealmente con la elevación*

Este patrón es el menos representado en el grupo de las aves (McCain, 2009). Thiollay (1991) analizó la distribución de aves rapaces a través de un gradiente altitudinal desde el nivel del mar hasta los 3400 m, en un intento por generar información sobre las áreas adecuadas para la conservación de estas especies en las pendientes Andinas del Pacífico, en Colombia. Dividió el gradiente altitudinal en cinco zonas: el bosque húmedo (< 500 m), bosque húmedo tropical (500-1200 m), bosque subtropical (1200-2400 m), bosque templado (2500-3500 m) y pastizales alpinos (3200-3400 m). Registró 22 especies de rapaces cuyas comunidades presentaban altas tasas de recambio a través del gradiente. La riqueza de especies fue mayor y se mantuvo constante desde los 0 hasta los 1000 m, y después mostró una rápida disminución. El autor concluyó que quedan pocas áreas inalteradas lo suficientemente grandes para conservar estas especies; las existentes se ubican entre los 500 y los 2000 m, y las que se encuentran por debajo o encima

de ese nivel son escasas y son los sitios en los que la deforestación representa el mayor peligro para estas especies.

Un patrón similar fue encontrado por Blake y Loiselle (2000) en la Estación Biológica La Selva, Costa Rica. Encontraron que la riqueza de especies fue mayor y cambió poco entre los 50 y los 1000 m, y disminuyó drásticamente a los 1500 y 2000 m. No obstante, encontraron altas tasas de recambio a través del gradiente, principalmente entre los 50 y los 1000 m. Ellos concluyen que las altas tasas de recambio pueden deberse a cambios en el uso del suelo que han provocado la transformación de áreas extensas de bosque continuo a islas o penínsulas remanentes de bosque. Sugieren que también puede deberse a cambios en los tipos de recursos disponibles, pues encontraron que las especies insectívoras disminuyen hacia las partes altas del gradiente. Finalmente, debido a las altas tasas de recambio, al alto número de migrantes altitudinales y a la uniformidad con que se distribuyen las especies amenazadas a través del gradiente, los autores señalan la importancia de conservar gradientes altitudinales en su totalidad.

Por otra parte, Mallet-Rodrigues *et al.* (2010) estudiaron la distribución altitudinal de las aves en el Parque Nacional da Serra dos Órgãos, al sureste de Brasil, con el objetivo de registrar los límites altitudinales de las especies, el comportamiento de la riqueza a través del gradiente, y las especies endémicas y amenazadas. Encontraron que aproximadamente el 80% de las especies se encontró en la parte baja del gradiente, que la riqueza se mantuvo constante desde los 100 hasta los 1000 m, y a partir de ahí disminuyó conforme se incrementaba la altitud. No obstante, en las partes más bajas observaron una ligera disminución de la riqueza que de acuerdo a los autores se debe a efectos de perturbación humana; los autores concluyen que la restricción de algunas especies a ciertas elevaciones sugiere el efecto de diversos factores que podrían estar actuando en la estructura de la comunidad.

*(c) La riqueza es alta en bajas elevaciones, es máxima a mitad del gradiente, y entonces disminuye linealmente con la elevación*

En este patrón se observa un alto número de especies en la parte baja del gradiente pero alcanza su riqueza máxima en la mitad, a más de 300 m de la base, para después disminuir conforme sigue aumentando la elevación (McCain, 2009). Un ejemplo claro de este patrón es el reportado por Hawkins (1999) en Madagascar. Su objetivo era responder si existía un cambio en la riqueza

de aves con la elevación, para lo cual analizó un conjunto de inventarios de aves obtenidos durante la temporada de reproducción. Encontró que la riqueza de especies fue alta en la parte baja del gradiente, continuó aumentando hasta los 1200 m, y después disminuyó conforme seguía aumentando la elevación. El autor propuso dos explicaciones a este fenómeno: la primera fue que el área podía tener un efecto sobre la riqueza, por lo que la parte media del gradiente (la de mayor área), albergó más especies. La segunda explicación fue que la mayoría de las especies traslapaban sus áreas de distribución a esa altitud, probablemente debido a la alta precipitación en el área.

Otro ejemplo es el estudio de Lee *et al.* (2004) realizado en Taiwán, para conocer el comportamiento de la riqueza de aves con respecto a tres variables ambientales ampliamente citadas: la elevación, la productividad primaria y la urbanización (medida como áreas construidas y carreteras). Encontraron que la riqueza de especies fue mayor en la parte media del gradiente, y disminuyó a menor y mayor elevación, y que estaba muy correlacionada con la urbanización. Los autores explican que probablemente tiempo atrás la riqueza de aves efectivamente era mayor en las áreas bajas y disminuía linealmente con la elevación, sin embargo, debido a la creciente urbanización en las áreas bajas, la riqueza disminuyó, cambiando así la hipotética relación inversa entre riqueza de aves y la elevación, a una relación en forma de curva. No obstante, los autores aclaran que para comprobar esto sería necesario contar con estudios sobre distribución altitudinal de las aves antes de que el área estuviera alterada.

*(d) La riqueza es baja en bajas elevaciones, máxima a mitad del gradiente, y disminuye nuevamente a mayor elevación*

En este patrón la riqueza máxima se concentra en la parte media del gradiente a más de 300 m de la base, con 25% más especies que en la base o cima del gradiente (McCain, 2009). Un ejemplo de este patrón es el encontrado por Latta *et al.* (2003) en la isla "La Española", que alberga una gran diversidad de aves y un alto número de especies endémicas. El objetivo de su estudio fue describir la riqueza y recambio de especies a través de un gradiente altitudinal de 1750 m. Los sitios de estudio se dividieron en matorral desértico (20-50 m), bosque seco (300-365 m), bosque de pino (1100-1475 m), y bosque húmedo montano latifoliado (1675-1750 m). Encontraron que el bosque de pino fue el más rico con 46 especies, seguido por el bosque seco con 43, y el

bosque montano y el matorral desértico con 34 y 33 especies, respectivamente. Concluyeron que la mayor riqueza del bosque de pino está relacionada con la complejidad de la estructura de la vegetación, la cual incluye tanto un dosel como un sotobosque bien desarrollados; mencionan también que las diferencias en composición de las comunidades de aves entre hábitats pueden ser el resultado de diferencias en la disponibilidad de recursos para las especies, lo cual se refleja en los grupos tróficos presentes en cada hábitat.

Jankowski *et al.* (2009) realizaron un estudio en las montañas de Tilarán, Costa Rica, con el objetivo de conocer los cambios en la riqueza y composición de aves a través de un paisaje tropical montano. Para esto, compararon los patrones de riqueza y recambio de especies en la vertiente del Pacífico (menor humedad) y la del Caribe (mayor humedad). Encontraron que la riqueza de especies disminuyó hacia las zonas más altas y fue mayor en la parte media del gradiente. Este pico de riqueza coincidió con la zona de transición de bosque nublado a bosque lluvioso, por lo que la atribuyen a la convergencia de especies de ambos tipos de vegetación (es decir, los límites de distribución inferiores y superiores de las especies se encuentran en esta zona de transición). Mencionan que la humedad o la estructura de plantas relacionadas con la humedad (epífitas) podrían ser las fuerzas que determinan los límites de la distribución, aunque señalan que sería necesario realizar otros estudios donde se prueben otros posibles factores limitantes, como la competencia.

### **Factores que modelan la distribución de la especies de aves**

Aunque son diversas las hipótesis que intentan explicar estos patrones, pueden agruparse en hipótesis que incluyen el espacio, el clima, factores bióticos y abióticos interactuantes, y la historia evolutiva (Pianka, 1966; Gaston, 2000; McCain, 2009).

#### *Espacio*

Este factor puede ser explicado por la hipótesis espacial, la cual establece que a medida que incrementa el área, el número de especies aumentará (Sizling *et al.*, 2011). En las montañas, esta hipótesis establece que la zona del gradiente que cubra más área (base de la montaña), deberá albergar más especies que las zonas que ocupen menos área (cima de la montaña; (McCain, 2007a). Así, la hipótesis espacial predice el patrón de distribución lineal de la riqueza. Durante

mucho tiempo, los estudios sobre gradientes altitudinales se realizaron sin considerar el efecto del área, por lo que el patrón de disminución lineal de la riqueza se convirtió en un patrón muy frecuente (Rahbek, 1995). Actualmente, los estudios que consideran el efecto del área y el esfuerzo de muestreo reportan diversos patrones altitudinales. Un ejemplo del efecto del área en los patrones de riqueza altitudinal lo encontraron Kattan y Franco (2004) en un estudio realizado en los Andes de Colombia, en donde encontraron que había una fuerte relación entre el área y la riqueza de especies; al no controlar efecto del área la riqueza disminuyó linealmente con la elevación, mientras que si el efecto del área era controlado, la riqueza se concentró en la parte media del gradiente. De acuerdo con los autores una posible explicación a este patrón es el efecto de masa, donde la inmigración de especies de áreas cercanas puede incrementar la riqueza de especies en determinada parte del gradiente. Estas áreas no tienen la capacidad de mantener estas poblaciones y sólo presentan esta alta riqueza debido al proceso de inmigración de otras áreas fuente.

Otros autores que han intentado definir los factores que moldean la distribución de las especies, han generado modelos que incluyen, además del efecto del área, el efecto de otras variables del gradiente. Por ejemplo, Herzog *et al.* (2005) realizaron un estudio donde las variables contrastadas fueron: área, elevación (que representa también el potencial de evapotranspiración y la altura media del dosel), el modelo nulo del MDE (*mid-domain-effect*), y el pool regional de especies. Encontraron que la riqueza de especies fue máxima alrededor de los 1000 m, para luego disminuir marcadamente a los 1250-1750 m, y posteriormente permanecer constante con una ligera tendencia a incrementar hacia el área de mayor altura, a los 3250 m. El factor que mejor explicó esta curva por sí mismo fue la elevación, aunque no explicó los valores bajos de riqueza en zonas bajas, la marcada disminución en la parte media, ni la riqueza constante con tendencia a incrementar en las partes altas. Sin embargo, una vez que se agregan el efecto del área y el del MDE, el mejor modelo de explicación incluye estas tres variables. El hecho de que la elevación haya sido la variable que mejor explicó la curva implica que las propiedades del ecosistema montañoso son las responsables de moldear la distribución de las aves; sin embargo, admiten que debido a que muchas variables covarian (como la evapotranspiración y la altura media del dosel) o que no fueron determinadas (como abundancia de insectos, por ejemplo), no pueden señalar cuál o cuáles variables biológicas son las principales responsables.

## Clima

Los factores climáticos pueden ser limitantes para la existencia de especies a diferentes elevaciones (McCain y Grytnes, 2010), imponiéndoles restricciones fisiológicas y determinando su presencia o abundancia (Brown, 2001; Hawkins *et al.*, 2003). Aunque muchos aspectos del clima pueden influir en la riqueza de especies, la temperatura, la precipitación y la productividad son los más importantes (Lomolino, 2001). La temperatura tiende a disminuir conforme aumenta la elevación, y si se parte del supuesto de que es un factor determinante de la riqueza de especies, el patrón que se predice es una disminución de la riqueza conforme aumente la elevación; es decir, que hay una correlación positiva entre la temperatura y la riqueza de especies (McCain, 2007b).

Un ejemplo del efecto directo de la temperatura en la fisiología de las especies fue el reportado por Hahn *et al.* (2004), en un estudio realizado en Tioga Pass, California, a 2000 m de elevación sobre *Zonotrichia leucophrys oriantha*, subespecie que pasa el invierno en México y regresa a su área reproductiva en Sierra Nevada mucho antes de que le sea posible anidar, cuando la temperatura en el área aún es muy baja. Estudiaron si los individuos realizaban movimientos altitudinales inducidos por el clima en el periodo previo a la reproducción; registraron la temperatura a intervalos de una hora en el sitio y capturaron individuos de la especie para colocarles radiotransmisores. Siguiendo la señal de los radiotransmisores, registraron la presencia o ausencia de las aves después del atardecer de cada día y antes del amanecer. Encontraron que las aves se desplazaban hacia partes más bajas debido a las bajas temperaturas de la cima, y volvían a subir cuando el clima había mejorado, por lo que concluyen que la temperatura tiene un efecto directo sobre la presencia o ausencia de estas especies. Ellos discuten que de acuerdo a esos resultados es probable que la llegada de estas especies a Sierra Nevada esté modelada por la temperatura, además de otros factores como la precipitación, la presión atmosférica y la disponibilidad de alimento, que podían actuar como factores directos que estimularan su regreso.

Otro ejemplo de cómo la temperatura afecta la fisiología de los organismos fue presentado por Wilson *et al.* (2010), quienes realizaron un estudio bajo el supuesto de la regla de Bergmann, que establece que los individuos de climas más fríos tenderán a ser de mayor tamaño que aquellos

de climas más cálidos. Para probarla, utilizaron la especie *Anas cyanoptera*, que representa un buen candidato para estudios de variación ecogeográfica debido a su diferenciación en cinco subespecies (*A. c. cyanoptera*, *A. c. orinomus*, *A. c. borroeroi*, *A. c. septentrionalium* y *A. c. tropica*) que difieren en plumaje y otros caracteres morfológicos, con baja proclividad a migrar y que están restringidas a su rango geográfico. Colectaron especímenes de diferentes áreas de distribución y tomaron medidas del tamaño del cuerpo, alas, tarso, culmen, pico y masa corporal. Estos datos fueron analizados y encontraron que las variación de las características morfológicas estaban asociadas con las regiones ecogeográficas, dado que los individuos más grandes pertenecían a sitios más fríos de las altas elevaciones de los Andes (*A. c. orinomus* y *A. c. borroeroi*) y a altas latitudes en la Patagonia (*A. c. cyanoptera*), mientras las aves más pequeñas se encontraron a bajas elevaciones en regiones cálidas (*A. c. cyanoptera*, *A. c. septentrionalium* y *A. c. tropica*).

Por otra parte, la temperatura también puede afectar los organismos en términos de distribución ecológica y de lugares óptimos de anidación. Alegre *et al.* (1989) estudiaron la distribución de la lechuzca *Tyto alba* en un gradiente altitudinal en la Provincia de León, España. Encontraron que las bajas temperaturas limitan su distribución más allá de los 1380 m, mientras que la altura máxima a la que anidan es de 1280 m.

El efecto de la temperatura también ha sido evaluado conjuntamente con otras variables del clima. Bini *et al.* (2004) al investigar cuál o cuáles son las variables responsables de moldear los patrones de riqueza de aves de América del Sur, realizó un estudio donde correlacionó la variación geográfica de la riqueza de aves con variables ambientales frecuentemente citadas, como potencial de evapotranspiración, evapotranspiración actual, temperatura media diaria del mes más caliente, temperatura media anual y precipitación anual. A través de análisis multivariados determinaron el efecto de estas variables en diferentes taxa de aves, y aunque encontraron que de forma general estas variables pueden explicar la variación de la riqueza de las aves, el efecto que tiene cada grupo de variables es mayor o menor dependiendo del taxa analizado.

Finalmente, el efecto de la temperatura en la riqueza de especies ha sido discutido en términos del calentamiento global. Peh (2007) discute el aparente desplazamiento altitudinal hacia zonas

más altas de diferentes especies asiáticas tropicales, como posible reacción al calentamiento global. Por medio de una comparación sobre la distribución de especies en dos guías de campo publicadas 25 años antes, determinó la existencia de cambios altitudinales (diferencias mayores a 100 m de los límites superior e inferior de su rango), considerando las especies mejor conocidas, estudiadas y abundantes, que no muestran alta especificidad de hábitat; encontró que entre 1971 y 1999 una importante proporción de especies había cambiado sus rangos altitudinales hacia zonas más altas y argumentó que era probable que se debiera al cambio climático porque coincidían con un periodo de calentamiento global.

Por otra parte la precipitación no cambia linealmente con la elevación, sino que varía de acuerdo a las condiciones climáticas y fisiográficas regionales (Barry, 2008). Por lo tanto, no se puede predecir un patrón general en los diferentes gradientes altitudinales; no obstante, en diferentes montañas los patrones muestran una relación positiva entre la precipitación y la riqueza de especies (McCain, 2007b). Un ejemplo claro donde se observó una correlación positiva entre la precipitación y la riqueza de especies fue el trabajo que realizó Hawkins (1999) en un gradiente altitudinal en Madagascar.

La productividad por otro lado, depende de la temperatura y la precipitación, y es ampliamente aceptado que existe una relación positiva entre la productividad y la riqueza de especies (McCain y Grytnes, 2010). Esta relación se fundamenta en la capacidad de las áreas altamente productivas para albergar más individuos, y por lo tanto más especies (Rahbek, 1995). Sin embargo, existen estudios en los que esta relación no se observa, y la distribución de la riqueza de especies está probablemente determinada por otros factores (Hart *et al.*, 2011). Por ejemplo, en el estudio realizado por Chaves-Campos (2004) se documentó la abundancia temporal de aves frugívoras con desplazamientos altitudinales y de las plantas que consumen, a través de un gradiente altitudinal en Costa Rica, con el fin de determinar la relación entre sus movimientos y la disponibilidad de frutas. El estudio se llevó a cabo en cuatro cotas altitudinales: bosque tropical húmedo en transición a frío (400 m), bosque lluvioso premontano (1000 m y 800 m) y bosque lluvioso montano (1400 m). Se determinó la variación temporal en la abundancia de frutas en cada elevación y se determinó su influencia sobre la abundancia de aves usando pruebas de correlación. El autor encontró que la variación temporal y espacial en la abundancia de frutos explicaba sólo parcialmente los movimientos altitudinales de las aves, y que la abundancia de

aves disminuía en las tierras altas en periodos de alta abundancia de frutos a estas elevaciones, lo que no sustentaba su hipótesis. Agregó que un factor alternativo que podría determinar el desplazamiento de las aves eran los cambios climáticos. Comentó también que en otros estudios se había observado que las aves con desplazamientos altitudinales anidaban en tierras altas durante el periodo con menos lluvia y migraban a tierras bajas en la temporada no reproductiva durante el periodo más lluvioso. Sin embargo, encontró que las aves migraron hacia tierras bajas un mes antes de que comenzara la temporada de lluvias, por lo que concluye que este factor no determina los movimientos altitudinales.

Por otra parte Hart *et al.* (2011) evaluaron la disponibilidad de néctar como recurso potencial para dirigir los movimientos altitudinales de aves nectarívoras en Hawái. Su principal hipótesis fue que la abundancia de estas aves estaba relacionada con los cambios espaciales y temporales de la disponibilidad de néctar. Para probarla, establecieron tres sitios de estudio distribuidos a través de un gradiente altitudinal (>1650, 1000-1300, <300 m) en los cuales se cuantificaron la abundancia de aves mediante puntos de conteo y transectos. La disponibilidad de néctar se determinó contando mensualmente el número de flores de 50 árboles en cada sitio de estudio. Encontraron que aunque la densidad de flores jugó un papel importante en la variación de la abundancia de aves, el efecto no fue significativo; en todas las especies hubo meses en los que la densidad de flores fue alta pero la abundancia de aves baja; o viceversa. Una posible explicación puede ser dada por tres factores principales: el primero es que las aves pueden restringirse de forrajear en lugares óptimos por factores como la territorialidad, las tolerancias ambientales, etc.; el segundo factor es que el néctar no es el único recurso que consumen las aves, pues se pueden alimentar de otras especies como los artrópodos; y el tercero es que podían estar evitando una trampa ecológica, es decir, hábitats que aparentan poseer capacidad para sostener poblaciones cuando en realidad no la tienen.

Otra evidencia de la correlación entre la productividad y la riqueza está representada por las especies con movimientos altitudinales. Estas son especies de aves conocidas por desplazarse a zonas altas o bajas en diferentes épocas del año, siguiendo las fluctuaciones estacionales de comida, es decir, se mueven a sitios de mayor productividad. Por ejemplo, Chaves-Campos (2003) determinó en un estudio realizado en un gradiente altitudinal en Costa Rica que las especies *Penelope purpurascens* y *Chamaepetes unicolor* presentaron poblaciones abundantes

en los pisos más altos durante la temporada reproductiva, y luego disminuyeron durante la temporada no reproductiva para incrementar sus abundancias en los pisos bajos. Este mismo patrón es el que siguen muchas aves de la zona, sin embargo, debido a que no dejó de detectarlas en los pisos altos, sugiere que podrían considerarse como especies con desplazamientos altitudinales parciales.

Un estudio similar lo llevaron a cabo Fraser *et al.* (2008) en la Reserva Silvestre Privada de Nebliselva El Jaguar. Con el fin de determinar desplazamientos altitudinales analizaron isótopos estables en 5 especies de aves: dos frugívoras parciales: *Catharus mexicanus* y *Mionectes oleagineus*, y tres nectarívoros: *Phaethornis longirostris*, *Eupherusa eximia* y *Campylopterus hemileucurus*. Eligieron estas especies porque los nectarívoros y frugívoros generalmente son considerados como especies con desplazamientos altitudinales que migran siguiendo las fluctuaciones estacionales de comida. Encontraron que las especies frugívoras efectivamente realizan estos desplazamientos, mientras que las especies nectarívoras no parecen seguir las fluctuaciones de alimento. Sin embargo, aclaran que sus resultados no son conclusivos y que son necesarios más estudios para determinar si efectivamente los nectarívoros no se mueven a lo largo de la clina altitudinal.

#### *Factores bióticos*

Terborgh (1971) estableció que los tres mecanismos que limitan la distribución de las especies en la cordillera Vilcabamba, Perú, son los ecotonos (20%), la exclusión competitiva (30%) y los factores que varían en paralelo con el gradiente (50%). Sin embargo, en un estudio posterior Terborgh y Weske (1975) concluyeron que la exclusión competitiva es el principal mecanismo que limita la distribución de las especies.

Se han publicado una gran cantidad de artículos donde se propone a estos factores como los responsables de moldear la riqueza y composición de especies a través de gradientes altitudinales. Por ejemplo, Navarro (1992) concluye que los ecotonos entre tipos de vegetación son los responsables de altos niveles de recambio en las especies, aunque no encuentra que la competencia haya tenido algún efecto. Otros estudios donde la vegetación y su complejidad estructural determinaron el patrón de distribución de las especies fueron los de Blake y Loiselle (2006), Latta *et al.* (2003) y Martínez y Rechberger (2007).

Otro ejemplo lo provee Medina-Macias *et al.* (2010) en un estudio sobre un gradiente altitudinal localizado en la Sierra Madre Occidental, México. Su objetivo fue documentar los patrones de riqueza de especies y endemismos en cinco tipos de vegetación. Para el trabajo de campo se determinaron ocho sitios de muestreo localizados a intervalos altitudinales de 300-400 m. Encontraron el patrón de disminución lineal de la riqueza con la elevación, y la existencia de tres agrupaciones avifaunísticas. Concluyeron que la distribución de estas agrupaciones está ligada a factores como la vegetación, los ecotonos, la altitud, la temperatura y la heterogeneidad ambiental.

Otros autores, han investigado más específicamente algunos de los aspectos de la vegetación que son los que más influyen en la distribución de las especies. Estades (1997) llevó a cabo un estudio en la Reserva Nacional Ñuble, Chile, con el objetivo de determinar la relación entre la complejidad de la vegetación y la densidad de aves. Encontró que distintas variables estructurales de la vegetación afectan de forma diferente a distintos grupos de aves. La densidad del follaje se correlaciona positivamente con la densidad de especies que forrajean en el suelo, mientras que la altura de la vegetación, se correlaciona con las especies de carpinteros que utilizan los árboles para forrajear. Concluye que sus resultados dependen de la escala del análisis, de tal forma que cuando analizó el gradiente en su totalidad, la riqueza y densidad de aves aumentaron en relación con el aumento de la complejidad estructural de la vegetación; sin embargo, cuando analizó sólo una parte del gradiente, la riqueza y densidad de aves se correlacionó con la composición de la vegetación.

Robinson y Holmes (1984) realizaron un estudio con el objetivo de comprobar el efecto de la estructura de la vegetación en el comportamiento de forrajeo y éxito de caza en las aves. Su hipótesis es que la estructura de la vegetación ofrece tanto oportunidades como restricciones para acceder a las presas, por lo que en última instancia determina la estructura de las comunidades de aves. Para probar su hipótesis, trabajaron con cuatro especies: *Vireo olivaceus*, *V. philadelphicus*, *Setophaga ruticilla*, y *Setophaga caerulescens*. Encontraron que *V. olivaceus* y *S. ruticilla* cambian sus patrones de forrajeo en función de la estructura de la vegetación, pero no en función de cambios en la composición de las especies de árboles. Por su parte *S. caerulescens* no mostró cambios en sus patrones de forrajeo con los cambios en estructura y composición de la vegetación. Finalmente el comportamiento de forrajeo de *S. ruticilla* estuvo principalmente afectado por la

abundancia y tipo de presas entre las especies de árboles. Concluyen que el comportamiento y éxito de caza de estas especies está influenciada principalmente por la estructura del hábitat y por los tipos y abundancia de los recursos disponibles.

Un estudio similar es el estudio que Lee y Rotenberry (2005) realizaron utilizando un conjunto de censos de aves de los bosques del este de Florida hasta Nueva Escocia y de los bosques del oeste de Minnesota hasta Dakota del Norte. Argumentan que se ha documentado que a gran escala la fisionomía (estructura) de la vegetación es el factor que moldea la estructura de las comunidades, mientras que la composición de la vegetación es el factor dominante a menor escala. Entonces su objetivo fue analizar si efectivamente los ensamblajes de especies de aves estaban más correlacionados con la estructura que con la composición de la vegetación. Mediante diversos análisis que les permitieron analizar el efecto de cada factor, encontraron que el cambio en la composición de especies de aves estaba más correlacionado con cambios en la composición de la vegetación. Finalmente aclaran que esto no significa que la estructura de la vegetación no tenga un efecto importante, sino que simplemente existe una correlación entre los ensamblajes de aves y los ensamblajes de árboles a nivel local, independientemente de la variación estructural.

No obstante, no solo la vegetación ha actuado como factor biótico limitante. Purcell (2006) examinó la abundancia, el éxito reproductivo y el impacto del parasitismo de *Molotrus ater* como factor limitante en *Vireo gilvus*, en un bosque de coníferas a lo largo de un gradiente altitudinal en California. Su estudio estuvo basado en dos hipótesis relacionadas con la dinámica de la población de *V. gilvus*: (1) en sitios elevados donde *M. ater* es raro, existen poblaciones que sirven potencialmente como fuente; y (2) las poblaciones que sirven potencialmente como fuente se encuentran en el centro de la distribución altitudinal, mientras que poblaciones menos productivas se ubican a elevaciones mayores y menores. De lo anterior, la hipótesis de que podrían existir potenciales poblaciones fuente a elevaciones mayores no se cumplió, pues la mayor abundancia de *V. gilvus* se observó a elevaciones medias, así como la mayor tasa de supervivencia de los nidos, disminuyendo gradualmente hacia elevaciones mayores y menores. El autor encontró parasitismo de nidos por *M. ater* en las elevaciones bajas, sin embargo, a elevaciones medias no fue un factor que afectara significativamente el éxito reproductivo de *V. gilvus*. El autor concluyó que este estudio provee apoyo sobre las interacciones ecológicas que

limitan la distribución de los organismos, es decir, el parasitismo de nidos por *M. ater* a bajas elevaciones.

Por otra parte, diversos autores han propuesto a la exclusión competitiva como un factor limitante principal. Vrežec (2003) determinó la densidad y la distribución altitudinal de tres especies de búhos: *Strix uralensis*, *S. aluco* y *Aegolius funereus*, en una región montañosa de Eslovenia central. La detección de los búhos la realizó utilizando grabaciones de llamados territoriales durante la noche, asumiendo que cada respuesta representaba un territorio ocupado. *Strix aluco* se encontró a elevaciones significativamente más bajas (320-850 m), mientras que *A. funereus* se encontró a mayor elevación de lo esperado (700-940 m). Las elevaciones ocupadas por *S. aluco* no fueron las óptimas para *A. funereus*; a altas elevaciones las condiciones extremas evitan que *S. aluco* compita con *S. uralensis*, lo que resulta en una ventaja para *A. funereus*, el cual es capaz de sobrevivir en condiciones extremas dentro de los territorios de *S. uralensis*. El autor concluyó que la separación de *S. aluco* y *S. funereus* por la altitud es una consecuencia de exclusión competitiva; sin embargo sugiere realizar más estudios para determinar esta interacción.

Politi y Rivera (2005) estudiaron la distribución, abundancia y patrones de actividad entre especies de pericos en la época reproductiva, a través de un gradiente altitudinal en el Parque Nacional Calilegua, Argentina. Dividieron su área de estudio en cuatro zonas altitudinales de acuerdo a los principales tipos de vegetación, encontrando una estratificación espacial en la distribución de las especies de pericos, determinada por cambios en sus abundancias. La zona altitudinal más elevada albergaba el menor número de especies. Las especies con la mayor plasticidad ecológica se encontraron en tres de las cuatro zonas altitudinales. *Aratinga leucophthalma* y *A. mitrata* ocuparon zonas altitudinales opuestas en el gradiente mostrando un claro reemplazo de especies del mismo género en diferentes tipos de bosque, propiciado quizá por una exclusión competitiva.

#### *Historia evolutiva*

Algunos modelos proponen a las montañas como regiones con sitios de máxima diversidad, debido a que sus características promueven la especiación y moderan las tasas de extinción. Existe una hipótesis que establece que en las montañas, la máxima especiación se encuentra en

su base y disminuye conforme aumenta la elevación, mientras que la extinción es alta en la cima de la montaña y se reduce conforme disminuye la elevación; esta hipótesis predice que el lugar de máxima diversidad es la base de la montaña, donde hay más especiación y menos extinción (McCain y Grytnes, 2010). En zonas tropicales, se asume que las especies ancestrales preferían los climas cálidos y húmedos, por lo que se espera que las especies que evolucionaron a partir de ellas mantengan su preferencia hacia estas condiciones ambientales, de acuerdo con la idea del conservadurismo de nicho. La hipótesis anterior ha sido utilizada para explicar por qué los trópicos son áreas con mayor riqueza de especies que las áreas templadas, o para explicar por qué en la base de la montaña generalmente se encuentra una mayor riqueza de especies que en la cima (McCain y Grytnes, 2010).

Un estudio que siguió esta línea de investigación fue realizado por Cadena *et al.* (2012). Su objetivo era responder si la alta diversidad de las montañas tropicales con respecto a las montañas de zonas templadas tiene relación con la idea de que las primeras experimentan menor variación estacional en temperatura que las segundas. Esto significa que en las montañas tropicales hay una mayor estratificación térmica a través de gradientes altitudinales, lo que selecciona organismos con estrechas tolerancias térmicas, que da como resultado una dispersión muy reducida a través de trayectorias altitudinales (Janzen, 1967, citado en (Cadena *et al.*, 2012). Para probarlo, trabajaron con especies hermanas tropicales y templadas de murciélagos, aves, sapos, lagartos y serpientes, y plantearon dos hipótesis: 1) si los intervalos y las tolerancias térmicas de las especies tropicales están más evolutivamente conservados, entonces las poblaciones que habitan cimas o valles adyacentes de montañas deben experimentar mayor aislamiento y un incremento de oportunidades para la especiación alopatrica (conservación de nicho); 2) por otra parte, la alta estratificación climática en las montañas tropicales puede incrementar la probabilidad de divergencia de poblaciones *in situ* y conducir a una especiación parapátrica (divergencia de nicho). De acuerdo con los autores, en el primer caso las especies hermanas tropicales deben habitar zonas altitudinales similares y por lo tanto mostrar mayor sobreposición en sus intervalos térmicos, con respecto a las especies hermanas de zonas templadas. En el segundo caso, las especies tropicales hermanas deben mostrar una menor sobreposición en sus distribuciones altitudinales e intervalos térmicos, con respecto a las especies hermanas de zonas templadas. Los resultados indicaron que las especies tropicales hermanas mostraron una

mayor sobreposición en sus intervalos térmicos que las especies hermanas de zonas templadas, lo que sugiere que los nichos térmicos de las especies hermanas tropicales son efectivamente más estrechos y evolutivamente conservados, que los nichos térmicos de las especies hermanas de zonas templadas. Es decir, las poblaciones de las regiones montañosas tropicales pueden experimentar mayores oportunidades para el aislamiento y la especiación alopátrica a través de gradientes térmicos altitudinales, que las poblaciones de las regiones montañosas templadas.

## OBJETIVOS E HIPÓTESIS

### Objetivo general

Evaluar el efecto de los cambios altitudinales en la riqueza y composición de las aves, y determinar los factores responsables de moldear su distribución.

### Objetivos particulares

- Analizar la riqueza y composición de aves a través de un gradiente altitudinal.
- Determinar el patrón al que se ajusta la distribución de la riqueza de aves a través del gradiente altitudinal.
- Definir pisos altitudinales mediante el análisis de la composición de la avifauna a través de un gradiente altitudinal.
- Proponer las variables que pueden ser las responsables de moldear la distribución de las especies a través del gradiente altitudinal.

### Hipótesis

Se espera que la riqueza de aves sea alta en las partes bajas del gradiente, y menor en las partes más altas, sin embargo, debido a que se considera el efecto del área en el muestreo, se espera que la máxima riqueza de aves se observe en las partes medias del gradiente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio se ubica en Nayarit, un estado del occidente de México que aunque sólo representa el 1.4% del territorio nacional es considerado como una zona prioritaria por su avifauna endémica (Navarro y Benitez, 1993; Escalante *et al.*, 1998). En el estado habitan especies como la ninfa mexicana (*Thalurania ridgwayi*), el loro corona lila (*Amazona finschi*) y la chara pinta (*Cyanocorax dickeji*), que además de ser endémicas, están consideradas bajo distintas categorías de riesgo tanto a nivel nacional como internacional (González-García y Gómez de Silva, 2002; SEMARNAT, 2010; IUCN, 2014). No obstante, son pocos los estudios realizados con el objetivo de comprender los patrones de distribución de la avifauna de Nayarit (García-Trejo y Navarro, 2004), donde la mayoría de las investigaciones se han enfocado principalmente en las aves insulares (Grant, 1965; Drummond y Canales, 1998; Rebón-Gallardo, 2000) y de zonas costeras (Juarez y Dickerman, 1972; Cupul-Magaña, 1999; Molina *et al.*, 2009).

#### a) Ubicación geográfica

El estado se localiza sobre la costa de Océano Pacífico, entre los 20°40' y 23°03' de latitud norte y 103°56' y 105°45' de longitud oeste. Limita al norte con los estados de Sinaloa y Durango; al este con Durango, Zacatecas y Jalisco; al sur con Jalisco y el Océano Pacífico y al oeste con el Océano Pacífico y Sinaloa (INEGI, 2000). El estudio se llevó a cabo al sur del estado, en los municipios de Bahía de Banderas, Compostela, San Pedro Laguaillas, Jala y La Yesca (Fig. 1).

#### b) Fisiografía

El área de estudio comprende parte de tres provincias fisiográficas: Sierra Madre Occidental, Eje Neovolcánico, y Sierra Madre del Sur, por lo que la zona se caracteriza por presentar una topografía accidentada que propicia una enorme diversidad climática y la existencia de diferentes tipos de vegetación (INEGI, 2000). La Sierra Madre Occidental es una cordillera formada por actividad volcánica durante el Mioceno. Su clima característico templado-subhúmedo permite la dominancia de bosques de coníferas, encinos y pastizales. Entre las especies animales que la caracterizan se encuentran algunos anfibios (salamandra *Ambystoma rosaceum*), reptiles (lagartijas *Phrynosoma douglasi* y *Sceloporus jarrovi jarrovi*, serpientes

*Thamnophis rufipunctatus* y *Crotalus willardi*) y mamíferos (ratón *Peromyscus madrensis*). Para muchas especies, el curso del Río Grande de Santiago es una barrera geográfica; sin embargo, es conocido que otras especies logran cruzar hacia la provincia del Eje Neovolcánico Transversal (Espinosa *et al.*, 2008). Esta provincia comprende el 57.3% del estado de Nayarit, abarcando entre otros a los municipios de Jala y La Yesca. Está representada por altas mesetas interrumpidas de manera abrupta por profundos cañones y cañadas y alcanza en el municipio de La Yesca su máxima elevación en el Estado de 2760 msnm (INEGI, 2000).

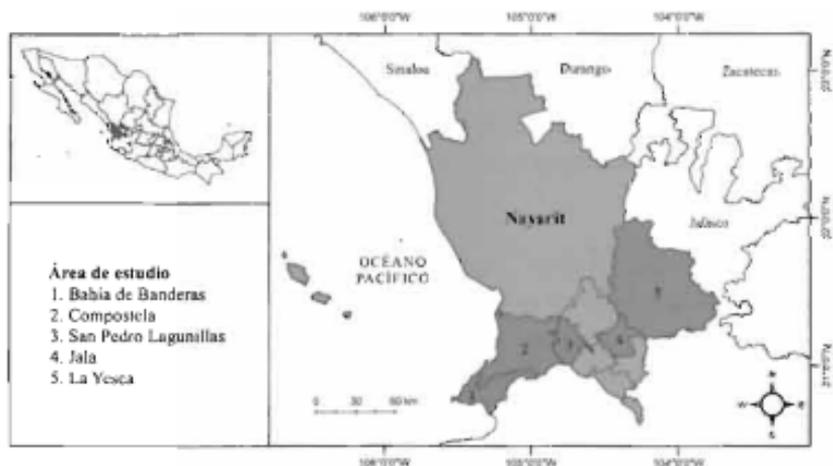


Figura 1. Ubicación del estado de Nayarit y municipios muestreados.

La provincia del Eje Neovolcánico está compuesta por un conjunto de volcanes de diferentes edades que cruzan el país de oeste a este, originados a partir del Mioceno medio y hasta el Plio-Pleistoceno. Está separada de la provincia Sierra Madre Occidental por el curso del Río Grande de Santiago y debido a su origen tan complejo, están presentes en ella casi todos los tipos de vegetación, aunque predominan los bosques de coníferas y de encinos. El resto del área está compuesta por pastizales, matorrales subalpinos, bosques mesófilos (en las cañadas) y vegetación ribereña. El Eje Neovolcánico es considerado por algunos autores como difícil de delimitar; no obstante, se reconocen algunos endemismos en especies de plantas, anfibios, reptiles, mamíferos y aves, como el colibrí *Lampornis amethystinus brevirostris*. Sin embargo,

cabe señalar que algunas de las especies de esta provincia se distribuyen de forma sesgada, unas hacia partes más secas, otras hacia zonas más húmedas; unas hacia lugares más fríos, y otras hacia áreas semicálidas. Por lo tanto, la mayoría de los taxones endémicos a esta provincia se distribuyen en áreas de mayor complejidad histórica y ecológica y de menor extensión (Espinosa *et al.*, 2008). En Nayarit, esta provincia ocupa el 19.4% de la superficie, incluyendo íntegramente el municipio de San Pedro Lagunillas y parte de los municipios de Compostela y Jala, entre otros (INEGI, 2000).

La provincia de la Sierra Madre del Sur está considerada entre las más complejas de país y debe muchos de sus rasgos particulares a su relación con la placa de Cocos, a la cual debe la fuerte sismicidad que presenta. En Nayarit, la Sierra Madre del Sur se encuentra en una pequeña parte hacia el sur del estado (7.6%), abarcando completamente el municipio de Bahía de Banderas y parte de los municipios de Compostela y San Pedro Lagunillas (INEGI, 2000).

### *c) Climas*

El área de estudio se caracteriza por la presencia de dos tipos de climas principales: cálido y semicálido. El clima cálido se encuentra principalmente en la Sierra Madre del Sur y cubre algunas partes del Eje Neovolcánico y de la Sierra Madre Occidental (valles y cañones). Tiene una precipitación total anual de 800 a 1500 mm y una temperatura media anual de 22 a 26°C. De acuerdo a su grado de humedad puede presentarse como: cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (en Compostela, San Pedro Lagunillas y Bahía de Banderas); cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (en pequeñas áreas de La Yesca, Compostela, San Pedro Lagunillas y Bahía de Banderas) (INEGI, 2000).

El clima semicálido se distribuye principalmente en parte de la Sierra Madre Occidental y del Eje Neovolcánico, con temperaturas medias anuales que van de 18 a 22°C y una precipitación total anual de 800 a 1500 mm. De acuerdo con su grado de humedad se encuentran: semicálido subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad (en áreas de San Pedro y Compostela) y semicálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad (en La Yesca) (INEGI, 2000).

Los climas menos representados en el área de estudio son el templado y el semiseco. El clima templado se encuentra en zonas de las sierras donde la altitud es mayor a 2000 m. Las características de estos climas son una temperatura media anual entre 12 y 18°C y una

precipitación total anual de 800 mm a más de 1000 mm. Se pueden distinguir entre el templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (en Jala), y el templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (La Yesca). El clima semiseco, también conocido como seco estepario se caracteriza porque la evaporación excede a la precipitación. Tiene una temperatura media anual de 22 a 26°C y una precipitación total menor a 800 mm. Corresponde en particular al semiseco muy cálido con lluvias en verano, localizado en algunas áreas de La Yesca y San Pedro Lagunillas, entre otros (INEGI, 2000).

#### d) Hidrología

Las características climáticas, orográficas y geológicas del estado de Nayarit, determinan su gran potencial hidrológico superficial que comprende las múltiples corrientes y cuerpos de agua. Según la clasificación de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, el área de estudio queda comprendida entre tres regiones hidrológicas: RH-12 Lerma-Santiago, RH-13 Huicicila y RH-14 Ameca, cada una de ellas dividida a su vez en diferentes cuencas (INEGI, 2000).

#### e) Vegetación

Con respecto a la vegetación, las partes bajas del gradiente están cubiertas principalmente por selvas tropicales (selva mediana subcaducifolia, selva mediana subperennifolia y sus diversas asociaciones), donde las especies arbóreas predominantes son *Brosimum alicastrum*, *Bursera simaruba* y *Orbignya guacayule* (Bravo *et al.*, 2013). Al aumentar la elevación, entre los 900 y 1 200 msnm aparece el bosque mesófilo de montaña distribuido principalmente en cañadas profundas y húmedas y caracterizado por especies arbóreas como *Magnolia pacifica*, *Cornus disciflora*, *Inga hintonii* y *Quercus castanea* (Babb *et al.*, 2010). El bosque mesófilo de montaña se asocia con las selvas en su límite inferior y con el bosque de encino en su límite superior. El bosque de encino se mantiene como una comunidad distintiva hasta los 1 800 msnm, donde forma asociaciones con el bosque de pino, los cuales predominan hacia las partes más altas del gradiente, donde es común encontrar especies como *Pinus devoniana* y *Pinus oocarpa* (Blanco, 1994).

## Muestreo de la avifauna

El trabajo de campo consistió en identificar y registrar las aves a través de un gradiente altitudinal de 0 a 2700 m. El gradiente se dividió para su estudio en intervalos altitudinales de 300 m, los cuales se distribuyeron al azar en el área de estudio, tratando de incluir a los tipos de vegetación en la zona (Navarro, 1992). Cada intervalo altitudinal fue muestreado en dos temporadas diferentes por medio de 16 puntos de conteo independientes en cada ocasión (Blake y Loiselle, 2000; Medina-Macias *et al.*, 2010). La primera temporada se llevó a cabo en la época invernal del 2013, mientras que la segunda se realizó en el verano del 2014 (principalmente), por lo que en cada intervalo se tiene un registro de especies residentes y migratorias (Cuadro 1, Figura 2).

**Cuadro 1.** Características generales del área de estudio y esfuerzo de muestreo.

| <i>Intervalo altitudinal</i> | <i>Municipios muestreados</i>     | <i>Puntos de conteo</i> | <i>Vegetación</i>                    | <i>Fechas de muestreo</i>   |
|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---|
| 0-300                        | Bahía de Banderas<br>Compostela   | 32                      | SMSC (32)*                           | dic2013 <sup>M</sup> , ene2014 <sup>M</sup><br>sep2014 <sup>NM</sup>          |
| 301-600                      | Bahía de Banderas<br>Compostela   | 32                      | SMSC (14)*<br>SMSP (18)*             | dic2013 <sup>M</sup> , ene-mar2014 <sup>M</sup> ago-<br>sep2014 <sup>NM</sup> |
| 601-900                      | Bahía de Banderas<br>Compostela   | 32                      | SMSC (4)*<br>SMSP (16)*<br>BMM (12)* | dic2013 <sup>M</sup> , ene2014 <sup>M</sup><br>jul-ago-sep2014 <sup>NM</sup>  |
| 901-1200                     | Compostela                        | 32                      | SMSP (6)*<br>BMM (26)*               | ene-feb2014 <sup>M</sup> , jul2014 <sup>NM</sup>                              |
| 1201-1500                    | Compostela<br>S. Pedro Lagunillas | 32                      | BMM (2)*<br>BE (30)*                 | ene-feb-mar2014 <sup>M</sup><br>jul-ago2014 <sup>NM</sup>                     |
| 1501-1800                    | Compostela<br>S. Pedro Lagunillas | 32                      | BE (32)*                             | mar2014 <sup>M</sup> , jul2014 <sup>NM</sup>                                  |
| 1801-2100                    | Jala                              | 32                      | BPE (32)*                            | mar2014 <sup>M</sup> , jul2014 <sup>NM</sup>                                  |
| 2101-2400                    | La Yesca                          | 32                      | BPE (32)*                            | sep2014 <sup>M</sup> , ene2015 <sup>M</sup>                                   |
| 2401-2700                    | La Yesca                          | 32                      | BPE (32)*                            | sep2014 <sup>M</sup> , ene2015 <sup>M</sup>                                   |

M = Periodo que corresponde a muestreos realizados durante la época (invernal)

NM = Periodo que corresponde a muestreos realizados durante la época de verano

(n)\* = Número de puntos de conteo realizados en cada tipo de vegetación

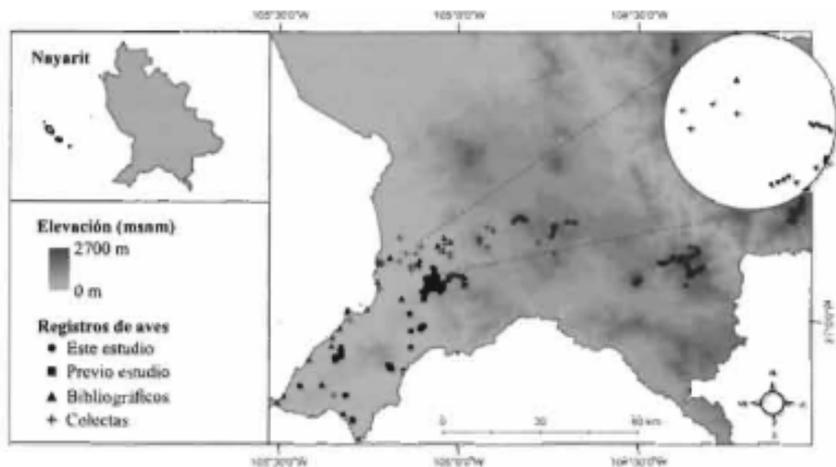
SMSC = selva mediana subcaducifolia

SMSP = selva mediana subperennifolia

BMM = bosque mesófilo de montaña

BE = bosque de encino

BPE = bosque de pino-encino



**Figura 2.** Gradiente altitudinal analizado y procedencia de cada registro. Puntos de conteo realizados durante este estudio, en salidas previas, y registros obtenidos de publicaciones científicas y colectas.

Cada punto de conteo estuvo separado de otros por 200 m de distancia como mínimo (Hutto *et al.*, 1986; Blake y Loiselle, 2000), y con radio ilimitado debido a la topografía del lugar (Hutto *et al.*, 1986). La avifauna se registró de forma visual y auditiva en un periodo de 10 minutos en cada punto (Martínez y Rechberger, 2007). No se consideraron aves acuáticas (Stotz *et al.*, 1996) y sólo se consideraron aves en vuelo que se observaron haciendo un uso efectivo del hábitat (e.g. golondrinas o vencejos cazando insectos; I-stades, 1997).

En cada punto de conteo se registraron datos de referencia como fecha, número del punto de conteo, hora de inicio y término, coordenadas geográficas, altitud y el nombre de la localidad. Para cada especie observada se determinó el número de individuos, el tipo de identificación (visual o auditiva) y en lo posible su sexo y edad.

Adicionalmente, con el fin de obtener un listado más completo sobre la composición avifaunística de cada intervalo, se realizaron caminatas libres durante el día y la noche con el fin de registrar aves nocturnas o especies que no hubieran sido detectadas durante los puntos de conteo. Cabe señalar que debido a que la detección de las aves puede estar bajo la influencia de factores como las condiciones del clima y los observadores, se disminuyó este sesgo muestreando la avifauna

sólo en los días en que el clima fue favorable (sin lluvia, viento, etc.) (Blake y Loiselle, 2000; Latta *et al.*, 2003; Martínez y Rechberger, 2007) e involucrando en el muestreo a los mismos observadores (Estades, 1997; Blake y Loiselle, 2000; Purcell, 2006).

Las especies se determinaron con binoculares 8x42 y mediante el empleo de las guías de campo de Peterson y Chalif (1973), Howell y Webb (1995), Sibley (2000), Dunn y Alderfer (2006) y Van Perlo (2006), o en medida de lo posible, a través del reconocimiento auditivo, con el apoyo de las bases de datos Xeno-Canto Foundation (2014) y Cornell Lab of Ornithology (2014).

Por último, con el fin de complementar el listado avifaunístico se realizó una revisión de literatura donde se consultaron publicaciones que reportan listas de especies para el área de estudio. Adicionalmente se consultaron registros de colectas a través de catálogos de museo en línea. Se incorporaron a esta base de datos, registros de presencia obtenidos en visitas previas al área de estudio por parte del personal del Museo de Zoología de la Universidad Autónoma de Nayarit.

Es necesario señalar que los registros obtenidos de la literatura y de catálogos de museos fueron sometidos a diversos procesos de depuración: a) sólo se consideraron los registros de aves que contaran con una georreferenciación precisa o que contenían la información necesaria para determinar con certidumbre sus coordenadas geográficas, de acuerdo a la metodología propuesta por Sua *et al.* (2005); b) sólo se seleccionaron aquellos registros que de acuerdo a INEGI (2013) se localizan en áreas que actualmente conservan su vegetación primaria o secundaria; c) se realizó una última depuración al eliminar los registros de aves que no coincidieron con el tipo de hábitat y el intervalo altitudinal que las caracteriza, de acuerdo con Howell y Webb (1995) y del Hoyo *et al.* (2014). En este último caso, es necesario señalar que para determinar si se eliminaba o no una especie, se tomó en consideración el número de registros reportados para la especie. Es decir, se consideró que un registro aislado de una especie fuera de su hábitat conocido, era probablemente un error.

Al listado resultante de especies se le asignó un orden de acuerdo a la taxonomía propuesta por la Unión Americana de Ornitólogos (AOU, por sus siglas en inglés) y su último suplemento (Cbesser *et al.*, 2015) y se estableció su estatus de conservación de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT, 2010) y a la Unión Internacional para la Conservación de la

Naturaleza (IUCN, 2014). El estatus de residencia de cada especie se determinó de acuerdo a Howell y Webb (1995) y el grado de endemismo de acuerdo a González-García y Gómez de Silva (2002). Se asignó el nombre en español de acuerdo a Escalante *et al.* (2014).

### **Muestreo de la vegetación**

La estructura del hábitat se midió usando un protocolo adaptado de Ralph *et al.* (1993), el cual permite obtener información sobre aspectos de la vegetación que se correlacionan con los requerimientos de las aves para anidar o alimentarse. El método consistió en determinar la altura promedio superior e inferior de cada estrato de vegetación, para lo cual se utilizó un telémetro láser modelo Nikon Forestry Pro. Posteriormente se determinó la cobertura total de cada estrato de acuerdo a la escala establecida por Braun-Blanquet (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974), donde una cobertura mayor al 75% equivale a 5; una cobertura entre 50 y 75% equivale a 4; una cobertura entre 25 y 50% equivale a 3; una cobertura entre 5 y 25% equivale a 2; una cobertura menor al 5% equivale a 1; un área con pocos individuos en cada estrato y de poca cobertura equivale al símbolo "+", y un área cuya abundancia de individuos en cada estrato es rara o solitaria y con poca cobertura equivale al símbolo "r". Posteriormente se midió el diámetro a la altura del pecho del árbol con el tronco más grueso (DAP mayor) y del árbol más delgado (DAP menor) con ayuda de una cinta métrica. Cabe señalar que se consideró como árbol a toda planta leñosa con un solo tronco cuyo DAP fuera mayor a 10 cm (Salvador y Álvarez-Sánchez, 2004; Harris y Woelf, 2006; Henslow, 2009). El procedimiento anterior se llevó a cabo considerando un radio de 50 m alrededor de cada punto de conteo de aves, donde se contaron además el número de tocones y troncos observados.

Adicionalmente, considerando un radio de 100 m se documentó la distancia y estacionalidad de cuerpos de agua y la presencia de distintas perturbaciones antropogénicas, como porcentaje de superficie ocupada por actividades ganaderas, agropecuarias (en cuyo caso se documentó el tipo: maizales o cafetales), así como la presencia, estacionalidad y tipos de caminos (senderos, terracerías, sin camino). Finalmente se determinó el tipo de vegetación de cada punto de conteo, tanto de este estudio como de los registros obtenidos en la literatura y catálogos de museos, de acuerdo a la clasificación de INEGI (2013).

## **Análisis de datos**

El análisis de datos está dividido en tres temas principales: 1) completitud del esfuerzo de muestreo; 2) comportamiento de la riqueza de especies a través del gradiente y factores responsables; 3) comportamiento de la composición de las especies a través del gradiente y factores responsables. Debido a la naturaleza de cada uno de los análisis anteriores, los datos se dividieron en dos categorías principales: 1) análisis que consideraron todos los tipos de registros: este estudio, previo estudio, bibliográficos y colectas; 2) análisis que únicamente consideraron la información generada durante este estudio (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Procedencia de los registros empleados en cada análisis.

| <i>Tema</i>   | <i>Análisis</i>                                     | <i>Fuente</i> |
|---|---|---------------|
| Completitud del esfuerzo de muestreo                                      | Completitud del esfuerzo de muestreo                | ee, pe, b, c  |
| Comportamiento de la riqueza de especies y variables responsables         | Expectación estadística de la riqueza               | ec            |
|   | Árboles de regresión                                | ec            |
| Comportamiento de la composición de las especies y variables responsables | Análisis de clasificación por intervalo altitudinal | ee, pe, b, c  |
|   | Análisis de clasificación por tipo de vegetación    | ee, pe, b, c  |

ee = este estudio; pe = previo estudio; b = bibliográficos; c = colectas

### *Completitud del esfuerzo de muestreo*

Con el fin de determinar si el esfuerzo de muestreo fue suficiente para caracterizar la composición avifaunística del área de estudio, se realizaron curvas suavizadas de acumulación de especies (curvas de rarefacción, Sest [Mao Tau]) para cada intervalo y para el gradiente completo. Una curva de rarefacción es producida por un muestreo repetido al azar del conjunto de muestras, lo que genera un promedio del número de especies esperado en  $N$  número de muestras (Gotelli y Colwell, 2001). A partir de estas curvas de rarefacción se calcularon los valores para los estimadores no paramétricos Chao 2 y Jackknife de primer orden, pues se ha demostrado que presentan un mejor desempeño comparado con funciones asintóticas extrapoladas u otros estimadores no paramétricos (Colwell y Coddington, 1994; Walther y Morand, 1998; Walther y

Moore, 2005; González-Oreja *et al.*, 2010). Los análisis se realizaron con el programa EstimateS (Colwell, 2013).

#### *Expectación estadística de la riqueza de especies*

Para determinar el comportamiento de la riqueza a través del gradiente altitudinal se compararon las expectativas estadísticas (Sest [Mao Tau]) de la riqueza de especies en cada intervalo altitudinal, utilizando el programa EstimateS (Colwell, 2013). La expectativa estadística de la riqueza de especies se calcula por medio de muestreos iterativos de todo el conjunto de muestras, permitiendo las comparaciones estadísticas entre tratamientos (Gotelli y Colwell, 2001). Para este análisis sólo se consideraron las especies registradas en cada uno de los 32 puntos de conteo realizados para cada intervalo altitudinal, con el fin de estandarizar el esfuerzo de muestreo (Rahbek, 1995). No obstante, debido a que el número de individuos registrados en cada intervalo altitudinal fue diferente, se extrapoló el número de repeticiones a 550 individuos, que es el valor correspondiente al intervalo altitudinal con mayor número de individuos registrados. Para determinar si la riqueza de especies difiere entre intervalos altitudinales, se compararon sus intervalos de confianza al 84%, ya que recientemente se ha sugerido que el traslape de estos intervalos de confianza equivale a pruebas estadísticas con un  $\alpha$  de 0.05 (MacGregor-Fors y Payton, 2013). Por lo tanto, se consideró que los datos son estadísticamente diferentes con un  $\alpha$  de 0.05 si sus intervalos de confianza no se traslapan.

#### *Árboles de regresión*

Con el fin de identificar las principales variables que tienen efecto en el comportamiento de la riqueza, se realizaron árboles de regresión. De acuerdo con De'Ath y Fabricius (2000) un árbol de regresión es una técnica estadística que permite explicar la variación de una variable respuesta (como la riqueza de especies) en función de una o más variables explicativas, que pueden ser numéricas o categóricas. El árbol se construye por medio de repetidas divisiones binarias de los datos, definidas por reglas que se basan en las variables explicativas. En cada división los datos se dividen en dos nodos mutuamente exclusivos, cada uno de ellos tan homogéneo como sea posible, y el proceso de división se aplica entonces a cada nodo por separado. La homogeneidad de cada nodo se define por su impureza, una medida que toma el valor de cero para nodos completamente homogéneos. La medida de impureza utilizada es la suma de cuadrados con

respecto al valor medio de la variable respuesta que caracteriza cada grupo. El proceso de división de un árbol continúa hasta formar el árbol más grande posible, entonces es posible recortarlo al eliminar las divisiones que se consideren menos importantes, es decir, que expliquen muy poca variación de los datos. Al finalizar, el árbol puede ser representado gráficamente donde su tamaño equivale al número de nodos finales. En la cima del árbol se representa el nodo raíz, el cual tiene todos los datos sin dividir, los nodos se siguen representando en las divisiones y los que se ubican en la base del árbol representan los nodos finales. Cada nodo está caracterizado por un valor medio de la variable respuesta, por el número de observaciones que lo respaldan, y por los valores de las variables explicativas que lo definieron.

Los árboles de regresión son por lo tanto considerados como herramientas estadísticas adecuadas para el análisis y la exploración de conjuntos de datos ecológicos (MacGregor-Fors *et al.*, 2013; Ferenc *et al.*, 2014), y como una alternativa para muchas técnicas estadísticas tradicionales (De'Ath y Fabricius, 2000). En este estudio, los árboles de regresión se emplearon para explorar las variables que tienen una mayor influencia en el comportamiento de la riqueza, y que por lo tanto pueden brindar información sobre los factores que moldean la distribución altitudinal de las especies. El análisis se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico R (R Core Team, 2015).

Es necesario señalar que debido a que la extensión espacial del área de estudio es de aproximadamente 190 km<sup>2</sup>, se considera que la investigación se realizó a una escala de paisaje o regional, de acuerdo a la clasificación propuesta por Willis y Whittaker (2002) y Pearson y Dawson (2003). De acuerdo con lo anterior, se asume que los factores que influyen en la distribución de las especies varían de acuerdo a la escala espacial a la que se hayan tomado los datos, por lo que en este estudio se utilizaron principalmente datos de tipo topográfico y de uso de suelo, y sólo se consideró la variable climática de precipitación total anual (Cuadro 3), que en diversos estudios se ha propuesto como un importante predictor de la riqueza de diversos grupos animales (Faaborg *et al.*, 1984; Lomolino, 2001; Nor, 2001; Hawkins *et al.*, 2003). La precipitación fue obtenida de las coberturas climáticas interpoladas por Cuervo-Robayo *et al.* (2013).

**Cuadro 3.** Descripción de las variables utilizadas en el estudio. El tipo de las variables es indicado por B: biótica, F: física, o E: espacial; y el tipo por N: numérica, C: categórica.

| Variable   | Tipo | Escala | Valores   |
|--|------|--------|---|
| Riqueza de aves  | B    | N      | Número de especies  |
| Precipitación total anual                                      | F    | N      | Milímetros  |
| Presencia de fuego   | F    | C      | Si o no   |
| Estacionalidad de cuerpos de agua                              | F    | C      | Perenne o estacional  |
| Distancia a cuerpos de agua                                    | E    | N      | Metros  |
| Tipo de camino   | E    | C      | Ninguno, sendero, terracería estacional, terracería permanente  |
| Ancho del camino   | E    | N      | Metros  |
| Actividades agropecuarias                                      | B    | C      | Si o no   |
| Actividades agrícolas (maíz)                                   | B    | N      | Porcentaje  |
| Silvicultura (café)  | B    | N      | Porcentaje  |
| Límite superior arbóreo, arbustivo y herbáceo                  | B    | N      | Metros  |
| Cobertura del estrato arbóreo, arbustivo, herbáceo y del suelo | B    | C      | 5 (>75%), 4 (50-75%), 3 (25-50%), 2 (5-25%), 1 (<5%), + (pocos individuos con poca cobertura), r (individuos solitarios con poca cobertura) |
| Diámetro a la altura del pecho                                 | B    | N      | Centímetros   |
| Tuozos y troncos   | B    | N      | Número de piezas  |
| Tipo de vegetación   | B    | C      | BTSC, BTSP, BMM, BE, BPE  |

BTSC = selva mediana subcaducifolia

BTSP = selva mediana subperennifolia

BMM = bosque mesófilo de montaña

BE = bosque de encino

BPE = bosque de pino-encino

#### *Análisis de clasificación por elevación y tipo de vegetación*

Para determinar el efecto del gradiente en la composición de las especies se realizaron análisis de clasificación. Se empleó el índice de similitud de Jaccard para evaluar el grado en el que los pisos son semejantes de acuerdo a su composición; el intervalo de valores para este índice es de 0 cuando no hay especies compartidas entre pisos, hasta 1 cuando los pisos tienen la misma composición de especies (Moreno, 2001). Se realizó un dendrograma (Biodiversity-Pro; McAleece *et al.*, 1997) usando el método de ligadura promedio sobre una matriz de datos de presencia-ausencia. Una segunda clasificación, *sensu* Villaseñor (2006) fue aplicar la técnica

de "Two-Way Indicator Species Analysis" (TWINSpan; Hill y Šmilauer, 2005). El análisis TWINSpan encuentra las relaciones entre las especies y las muestras a través de análisis de correspondencia. En un principio divide las muestras en dos grupos, y después refina la clasificación a través de análisis de correspondencia sin tendencia (DCA por sus siglas en inglés), lo que le permite encontrar las especies indicadoras y asociadas de cada grupo. Con base en esas especies, el análisis divide progresivamente estos grupos en grupos más pequeños hasta encontrar el límite. Una especie indicadora es la especie o grupo de especies presentes de forma exclusiva en todos los intervalos de cada piso altitudinal; una especie asociada está presente principalmente en un piso altitudinal pero puede estar en menor medida en otro piso (Villaseñor-Gómez, 2008). Este mismo análisis se empleó para encontrar la relación entre las especies y los tipos de vegetación con el fin de determinar si la vegetación es el factor que moldea la composición de las especies a través del gradiente. Para realizar los dendogramas se utilizó el índice de similitud de Sorensen usando el método de ligadura promedio sobre matrices de datos de presencia-ausencia. El dendograma se elaboró con el programa PC-ORD para Windows, versión 3.17 (McCune y Mefford, 1999).

## RESULTADOS

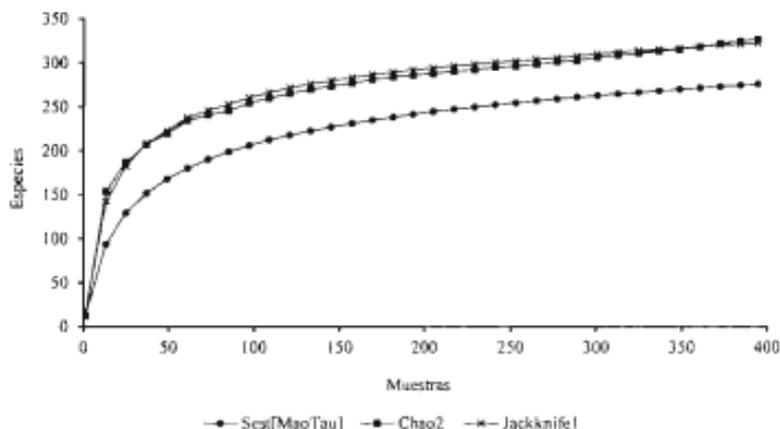
### Complejidad del esfuerzo de muestreo

La estimación de la riqueza total indica que se registraron aproximadamente el 85% de las aves de la zona de estudio (84.2% y 85.4% para los estimadores Chao 2 y Jackknife de primer orden, respectivamente, Cuadro 4, Figura 3).

Se registraron 223 especies de aves como resultado del trabajo de campo, y se agregaron 52 especies más como resultado de la revisión de literatura, catálogos de museos, y de las visitas previas al área de estudio. En total, se registraron 275 especies de aves para el sur de Nayarit, distribuidas en 14 órdenes, 41 familias y 162 géneros. La mayoría de las especies reportadas tienen residencia permanente en el estado (74%), mientras que el resto de las especies están representadas por individuos que son visitantes de invierno (22%), visitantes de verano (2%), transitorios (1%) o accidentales (2%). El 11% de las especies encontradas son consideradas como especies endémicas, mientras que el 15% tiene algún grado de amenaza a nivel nacional o internacional (Apéndice A).

**Cuadro 4.** Estimación de la riqueza de especies por intervalo y para el gradiente altitudinal.

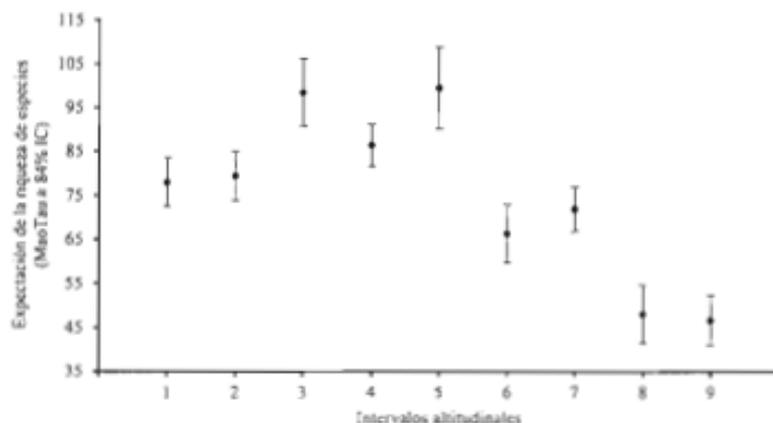
| <i>Intervalo</i>   | <i>Especies observadas<br/>Sest(Mao Yau)</i> | <i>Chao 2 ± CV</i> | <i>Jackknife I ± CV</i> |
|--------------------|--|--------------------|-------------------------|
| 0-300              | 173  | 204.67 ± 13.12     | 212.59 ± 10.97          |
| 301-600            | 118  | 161.54 ± 20.31     | 151.29 ± 7.66           |
| 601-900            | 127  | 154.66 ± 12.08     | 162.35 ± 8.2            |
| 901-1200           | 105  | 135.71 ± 13.93     | 137.52 ± 5.33           |
| 1201-1500          | 104  | 163.52 ± 22.81     | 151.62 ± 10             |
| 1501-1800          | 100  | 142.80 ± 18.10     | 138.51 ± 7.13           |
| 1801-2100          | 98   | 116.57 ± 10.16     | 120.68 ± 5.43           |
| 2101-2400          | 71   | 97.7 ± 13.68       | 96.71 ± 8.18            |
| 2401-2700          | 53   | 105.77 ± 40        | 70.59 ± 4.91            |
| Gradiente completo | 275  | 326.35 ± 20        | 331.88 ± 9.90           |



**Figura 3.** Curva de acumulación de especies basada en muestras. En la gráfica se muestra la curva suavizada de acumulación de especies observadas (Sest[MaoTau]) y las curvas de riqueza de especies estimadas según los estimadores no paramétricos Chao 2 (Chao2) y Jackknife de primer orden (Jackknife1). Las muestras representan localidades de muestreo.

### Comportamiento de la riqueza de especies con la elevación

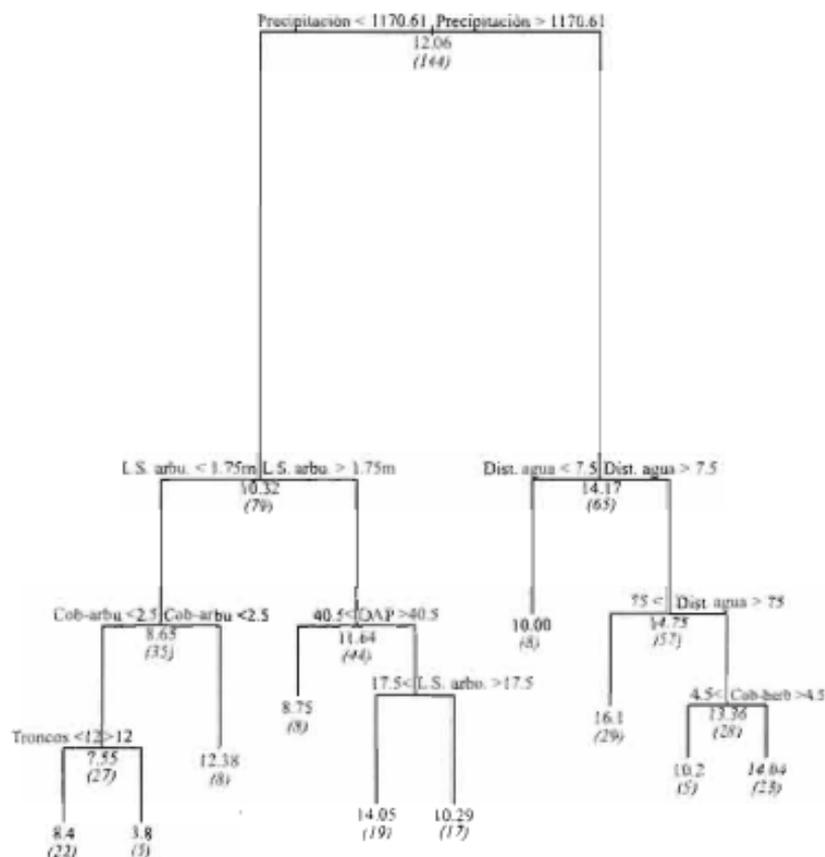
La comparación de la expectación estadística de la riqueza de especies entre los intervalos altitudinales mostró que la riqueza varía de forma estadísticamente significativa a través del gradiente. En las partes bajas del gradiente (intervalos 0-300 y 301-600), el número de especies se mantiene relativamente alto, hasta alcanzar un máximo de riqueza en las partes medias (intervalos 601-900, 901-1200 y 1201-1500), a partir de aquí, la riqueza de especies disminuye conforme sigue aumentando la elevación, hasta alcanzar sus valores mínimos en las partes más altas del gradiente (intervalos 2101-2400 y 2401-2700, Figura 4).



**Figura 4.** Expectación estadística de la riqueza de especies por intervalo altitudinal. Los valores fueron calculados con base en la extrapolación a 550 individuos. Se considera que los intervalos son estadísticamente diferentes con un alfa del 0.05 si sus intervalos de confianza no se traslapan. El intervalo 1 corresponde a la menor elevación (0-300 msnm) y el intervalo 9 a la mayor (2401-2700 msnm).

#### **Variables que influyen en la riqueza de especies**

El análisis indica que ocho de las 21 variables utilizadas para realizar el árbol de regresión tienen una influencia determinante en el comportamiento de la riqueza de aves: 1) precipitación total anual, 2) distancia a cuerpos de agua, 3) límite superior arbóreo, 4) límite superior arbustivo, 5) diámetro a la altura del pecho, 6) cobertura del estrato arbustivo, 7) cobertura del estrato herbáceo y 8) número de troncos. En general, la variable que más variación explica es la precipitación total anual, donde los sitios con mayor precipitación presentan una mayor riqueza de especies. En estos sitios, la riqueza máxima se alcanza donde la distancia a cuerpos de agua es menor a 75 m, y disminuye en sitios que además de estar alejados de cuerpos de agua, presentan bajas coberturas del estrato herbáceo. Por otra parte, en los sitios con menores niveles de precipitación anual, la riqueza de aves se concentra en aquellos lugares con mayores límites superiores arbustivos, donde el DAP es mayor a 40.5 cm, y donde el límite superior arbóreo es menor a 17.5 m, mientras que los sitios donde se presentan los valores más bajos de riqueza tienen un estrato arbustivo bajo, baja cobertura, y la presencia de muchos troncos (Figura 5).



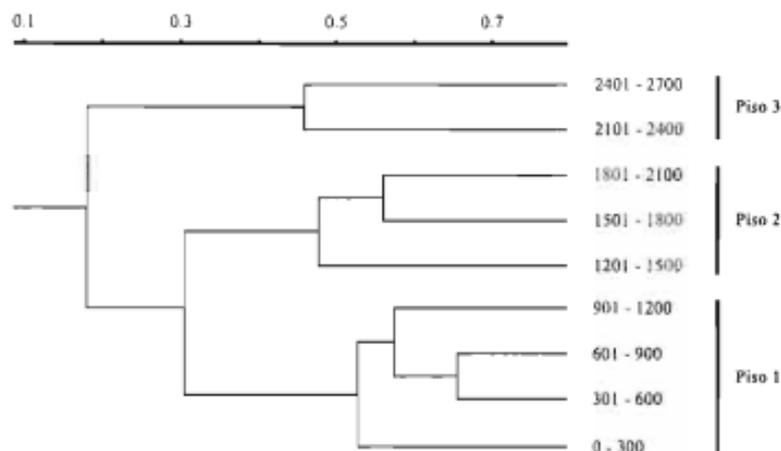
**Figura 5.** Árbol de regresión. Las principales variables explicativas son: precipitación total anual (precipitación), límite superior arbóreo (L.S. arbo), límite superior arbustivo (L.S. arbu), cobertura del estrato arbustivo (Cob-arbu), cobertura del estrato herbáceo (Cob-herb), diámetro a la altura del pecho (DAP), distancia a cuerpos de agua (Dist. agua), y número de troncos. Cada nodo indica el valor medio de la variable respuesta, el número de observaciones que lo respaldan (en cursivas), y los valores de las variables explicativas que lo definen. El árbol explica el 52.9% de la variación de la riqueza de aves, y la longitud vertical de cada división es proporcional a la variación explicada.

### Agrupaciones avifaunísticas en relación con la elevación

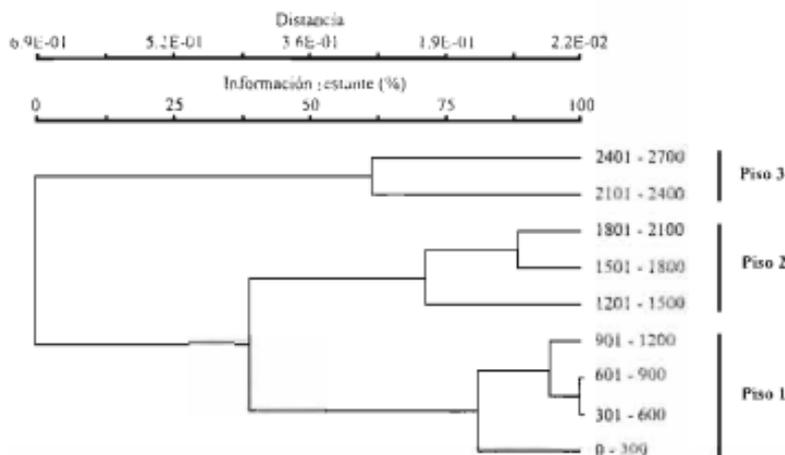
Los resultados de la clasificación de acuerdo a la elevación coinciden en la existencia de tres agrupaciones avifaunísticas o pisos altitudinales a través del gradiente (Figuras 6 y 7). El primer piso está conformado por 202 especies que se distribuyen principalmente desde el nivel del mar hasta los 1200 msnm. Trece de estas especies se consideran indicadoras de este piso (e.g. *Penelope purpurascens*, *Campophilus guatemalensis* y *Eupsittula canicularis*) y 18 se identificaron como especies asociadas (e.g. *Chlorostilbon auriceps*, *Colaptes auratus* y *Xiphorhynchus flavigaster*; cuadro 5). El 12% de las especies de este piso son consideradas endémicas y el 15% están dentro de alguna categoría de amenaza.

El segundo piso lo conforman 154 especies de elevaciones intermedias (1201-2100 msnm), y se caracteriza por la presencia de tres especies indicadoras: *Empidonax albigularis*, *Vireo huttoni* y *Catherpes mexicanus*. No obstante, no presenta especies asociadas, pues la mayoría de sus especies o se encuentran únicamente en un pequeño intervalo del piso, o se mueven ampliamente hacia los otros pisos (Cuadro 5). Del total de especies registradas en este piso el 10% son endémicas y el otro 10% se encuentran incluidas en alguna categoría de riesgo.

El tercer piso lo conforman únicamente especies de zonas altas (2101-2700 msnm), con nueve especies indicadoras (e.g. *Cyrtonyx montezumae*, *Euptilotis neoxenus* y *Aphelocoma wollweberi*) además de cuatro especies asociadas (e.g. *Patagioenas fasciata*, *Peucedramus taeniatus* e *Icterus parisorum*; Cuadro 5). En este piso se registró el menor número de especies, con sólo 86 especies registradas; de estas, el 12% son consideradas endémicas y el 15% están sujetas a alguna categoría de riesgo.



**Figura 6.** Pisos altitudinales según el índice de similitud de Jaccard. Dendrograma basado en una matriz de datos de presencia-ausencia (ligadura promedio). El corte de línea al 40% establece la existencia de tres pisos altitudinales. Los números de los intervalos representan la altura en metros sobre el nivel del mar.



**Figura 7.** Pisos altitudinales de acuerdo al análisis TWINSPLAN. Dendrograma basado en el índice de similitud de Sorensen (ligadura promedio) sobre una matriz de datos de presencia-ausencia. La línea de corte al 55% define la existencia de tres pisos altitudinales. Los números de los intervalos representan la altura en metros sobre el nivel del mar.

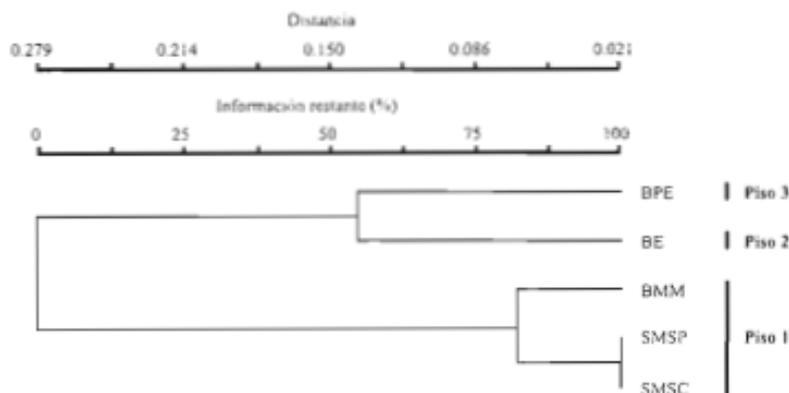
**Cuadro 5. Especies exclusivas y especies asociadas de cada piso altitudinal.**

| <b>PISO 1 (0-1200)</b>  | <b>PISO 2 (1201-2100)</b>                                 |
|---|---|
| <b>Especies indicadoras:</b>                                  | <b>Especies indicadoras:</b>                              |
| Chachalaca vientre castaño ( <i>Oreailix wagleri</i> )        | Mosquero garganta Blanca ( <i>Empidonax albigularis</i> ) |
| Pava cojolota ( <i>Penelope purpurascens</i> )                | Viso teyetzario ( <i>Ficedo huttoni</i> )                 |
| Paloma-perdiz roja ( <i>Geotrygon montana</i> )               | Chivirín barranqueño ( <i>Catherpes mexicanus</i> )       |
| Cuchillo canela ( <i>Praya cayana</i> )                       |   |
| Ermitaño cola larga ( <i>Phaethornis mexicanus</i> )          | <b>Especies asociadas:</b>                                |
| Carpintero enmascarado ( <i>Melanerpes chrysogenys</i> )      | No presentó especies asociadas                            |
| Carpintero lineado ( <i>Dryocopus lineatus</i> )              |   |
| Carpintero pico plata ( <i>Campephilus guatemalensis</i> )    | <b>PISO 3 (2101-2400)</b>                                 |
| Perico frente naranja ( <i>Euphittula canicularis</i> )       | <b>Especies indicadoras:</b>                              |
| Papamoscas atigrado ( <i>Myiodynastes luteiventris</i> )      | Codorniz Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> )         |
| Chipe roquero ( <i>Basiluterus lachrymosus</i> )              | Guajolote nortño ( <i>Meleagris gallopavo</i> )           |
| Chipe corona dorada ( <i>Basiluterus calceorufa</i> )         | Zunzador cola ancha ( <i>Sciaephoena platycercus</i> )    |
| Cacique mexicano ( <i>Cassicocitta melanerpes</i> )           | Tringón orejón ( <i>Euphonia neozena</i> )                |
|   | Mosquero pinero ( <i>Empidonax affinis</i> )              |
| <b>Especies asociadas:</b>                                    | Chara crestada ( <i>Cyanocitta stelleri</i> )             |
| Aguililla gris ( <i>Buteo plagiatus</i> )                     | Chara mexicana ( <i>Aphelocoma wollweberi</i> )           |
| Tecolote colimense ( <i>Geococcyx palmarum</i> )              | Troopador americano ( <i>Certhia americana</i> )          |
| Tecolote bajo ( <i>Geococcyx mexicanus</i> )                  | Juncu ojo de lumbe ( <i>Junco phaeonotus</i> )            |
| Esmeralda mexicana ( <i>Chlorostilbon auriceps</i> )          |   |
| Momoto corona café ( <i>Momotus mexicanus</i> )               | <b>Especies asociadas:</b>                                |
| Carpintero corona gris ( <i>Coccyzus auricularis</i> )        | Paloma de collar ( <i>Patagioenas fasciata</i> )          |
| Halcón-selvático de collar ( <i>Micrastur semitorquatus</i> ) | Marlo primavera ( <i>Turdus migratorius</i> )             |
| Perico catarina ( <i>Forpus cyanopygius</i> )                 | Ocovoto enmascarado ( <i>Pseudodramus taeniosus</i> )     |
| Trepaptroncos bigotudo ( <i>Xiphorhynchus flavigaster</i> )   | Bolsito blanco ( <i>Icterus parisorum</i> )               |
| Luis bien-te-veo ( <i>Pitangus sulphuratus</i> )              |   |
| Luis pico grueso ( <i>Megarynchus pitangua</i> )              |   |
| Luis gregario ( <i>Myiozetetes similis</i> )                  |   |
| Mosquero-cabezón degollado ( <i>Pachyrhamphus agelaius</i> )  |   |
| Viso dorado ( <i>Vireo hypochrysis</i> )                      |   |
| Miró dorsó rojo ( <i>Turdus rufofasciatus</i> )               |   |
| Tángara-horniguera corona roja ( <i>Habia rubica</i> )        |   |
| Picogordo amarillo ( <i>Pheucticus chrysopygus</i> )          |   |
| Tordo ojo rojo ( <i>Molothrus aeneus</i> )                    |   |

### Agrupaciones avifaunísticas en relación con la vegetación

Finalmente, el análisis TWINSpan por tipos de vegetación mostró que las especies de aves se agrupan a través del gradiente altitudinal siguiendo tres grupos de vegetación (Figura 8). El primer grupo lo conforman aves asociadas con la selva mediana subcaducifolia, la selva mediana subperennifolia y el bosque mesófilo de montaña. Se identificaron 28 especies exclusivas de

este tipo de vegetación y 15 especies asociadas. El segundo grupo se compone por aves que habitan los bosques de encino, algunas de ellas de forma exclusiva, como *Calothorax lucifer*, *Empidonax oberholseri* y *Aimophila ruficeps*. El tercer grupo pertenece a aves que habitan los bosques de pino-encino, ya sea de forma exclusiva como *Megascops trichopsis*, *Cyanocorax dickeyi* y *Ridgwayia pinicola*, o como especies asociadas que tienden a presentarse en el bosque de encino, como *Glaucidium gnoma*, *Melanerpes formicivorus* y *Lepidocolaptes leucogaster*.



**Figura 8.** Grupos de vegetación de acuerdo al análisis TWINSpan. Dendrograma basado en el índice de similitud de Sorensen (ligadura promedio) sobre una matriz de datos de presencia-ausencia. La línea de corte al 75% define la existencia de 3 grupos de vegetación. SMSC: selva mediana subcaducifolia; SMSP: selva mediana subperennifolia; BMM: bosque mesófilo de montaña; BE: bosque de encino; BPE: bosque de pino-encino.

## DISCUSIÓN

### Riqueza y endemismo

La importancia de contar con inventarios completos es que permiten conocer la riqueza y estructura de una comunidad (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003; Gotelli y Colwell, 2011). Sin embargo, muestrear una comunidad en su totalidad es una tarea difícil o imposible de lograr, por lo que el uso de herramientas estadísticas que permitan estimar el número de especies a partir de un muestreo previo se ha convertido en una alternativa muy recomendada (Colwell y Coddington, 1994; Walther y Morand, 1998; Walther y Moore, 2005; González-Oreja *et al.*, 2010). En este estudio, los estimadores de la riqueza indicaron el registro del 85% de las especies de la zona de estudio, por lo que se considera que se logró caracterizar la mayor parte de la riqueza y composición avifaunística del área.

De esta forma, el registro del 94% de las aves terrestres del Estado (Escalante, 1988) es indicador de la alta riqueza que alberga el sur de Nayarit y de la importancia de esta zona para la conservación. En esta área se concentran las principales cadenas montañosas del estado, que a su vez propician el establecimiento de una gran variedad de hábitats (INEGI, 2000). Al estudiar la avifauna a través de un gradiente altitudinal, se incluyeron en el estudio esta variedad de hábitats al muestrear en los distintos tipos de vegetación, lo que trae como resultado el registro de la alta riqueza de especies encontrada en este estudio.

La importancia de esta área se ve reflejada además por el alto número de especies endémicas que la habitan. Diversos autores han señalado que el oeste de México es uno de los principales centros de endemismo para la avifauna, la cual se concentra principalmente en las zonas montañosas de la Sierra Madre Occidental y del Eje Neovolcánico (Escalante *et al.*, 1998; García-Trejo y Navarro, 2004). En el sur de Nayarit, la convergencia de estas provincias fisiográficas da como resultado que aproximadamente una de cada nueve especies de aves registradas sea endémica, lo que finalmente demuestra la importancia ornitológica del área para la conservación.

### Comportamiento de la riqueza de especies con la elevación y variables responsables

La alta riqueza de especies registrada durante este estudio permite el reconocimiento del patrón de distribución de la avifauna a través del gradiente altitudinal.

Diversos autores han señalado la importancia de considerar el efecto del área en los patrones de distribución altitudinal de las especies, y han recomendado la estandarización del esfuerzo de muestreo a fin de evitar este sesgo (Rahbek, 1995; McCain y Grytnes, 2010). En este estudio, se intentó disminuir los sesgos mencionados al considerar el efecto del área y estandarizar el esfuerzo de muestreo mediante la realización de 32 puntos de conteo de 10 minutos de duración en cada intervalo altitudinal. Adicionalmente, se realizó una estimación de la riqueza de cada intervalo tomando en consideración que las características particulares de cada hábitat permiten observar un mayor o menor número de aves.

De esta manera, se encontró que en el sur de Nayarit la riqueza de especies es alta en las partes bajas del gradiente, aumenta y alcanza su pico en la parte media, entre los 600-1500 m. y luego disminuye conforme sigue aumentando la elevación, hasta los 2700 m aproximadamente, donde se presenta la menor riqueza de especies. Este comportamiento de la riqueza corresponde a uno de los patrones señalados en la literatura: *la riqueza es alta en bajas elevaciones, es máxima a mitad del gradiente, y entonces disminuye linealmente con la elevación* (conocida en inglés como *low plateau with a mid-elevational peak*; Rahbek, 1995, 2005; McCain, 2009), y ha sido reportado para el grupo de las aves por diversos estudios (e.g. Hawkins, 1999; Kattan y Franco, 2004; Herzog *et al.*, 2005).

Por otra parte, los análisis indican que las áreas de mayor riqueza de especies se caracterizan principalmente por una mayor precipitación y por la influencia de cuerpos de agua, además de otros factores que en general se correlacionan con la estructura del hábitat. En este sentido se ha propuesto que en las regiones tropicales, la riqueza de diversos grupos de especies está limitada principalmente por restricciones climáticas asociadas con la disponibilidad de energía y agua (Hawkins *et al.*, 2003). Es decir, se propone que la energía restringe la riqueza de especies a niveles tróficos, de tal forma que en la base de las redes tróficas la productividad de las plantas está limitada principalmente por la energía solar y la disponibilidad de agua, y en consecuencia la riqueza de los demás grupos tróficos dependerá finalmente de estas variables (Wright, 1983). La precipitación por ejemplo, influye en la riqueza de especies al limitar los recursos para alimentación o reproducción (Faaborg *et al.*, 1984) o produciendo zonas de mayor productividad donde se concentra una mayor riqueza de especies (Nor, 2001).

En los gradientes altitudinales, las condiciones climáticas y ambientales (como la temperatura y la precipitación) varían y producen zonas de mayor productividad capaces de albergar una mayor riqueza de especies (Lomolino, 2001). En este estudio, la riqueza de especies se concentró en la parte media del gradiente, por lo que de acuerdo con lo anterior es probable que esté respondiendo a una mayor precipitación e influencia de cuerpos de agua, es decir, que esté respondiendo a zonas de mayor productividad.

Por otra parte, la riqueza de especies respondió positivamente a zonas cuyos estratos de vegetación tenían una mayor altura (e.g. límite superior arbustivo), una mayor cobertura (e.g. cobertura arbustiva y herbácea) y troncos más gruesos. Estas características generalmente corresponden a hábitats estructuralmente más complejos, que brindan mayor abundancia de recursos para la alimentación y la reproducción de las especies (Mörtberg, 2001). Por ejemplo, se ha demostrado que existe una correlación positiva entre la altura y cobertura de los estratos y el número de nidos de distintas especies de aves, pues estas características de la vegetación proveen lugares más seguros para anidar (Mörtberg, 2001; MacGregor-Fors *et al.*, 2013). Por otra parte, los troncos gruesos (DAP mayor) son representativos de árboles viejos que generalmente permanecen en hábitats con bajo grado de alteración, ofreciendo hábitats adecuados para la reproducción de las aves, o para su alimentación (Mörtberg, 2001; Murgui, 2007; Forenc *et al.*, 2014).

Es probable, por lo tanto, que la mayor riqueza de especies haya sido encontrada en sitios que, debido a sus características climáticas, proveen mayores fuentes de recursos para las aves. Estos hábitats, además, parecen ser sitios con poco grado de perturbación, con estratos arbustivos bien desarrollados que ofrecen una amplia gama de recursos para el mantenimiento y supervivencia de una mayor riqueza de aves.

Finalmente, es necesario señalar que en este estudio, a diferencia de lo reportado en la literatura, se encontró que la riqueza de aves disminuye en hábitats con doseles arbóreos más altos. Esta relación probablemente se debe a que los árboles más altos se registraron en los bosques de pino-encino, que son hábitats donde la diversidad biológica del dosel es muy reducida (Challenger, 2003), y que probablemente influye en la baja riqueza de aves registradas en estos sitios. Por otra parte, también se encontró una correlación negativa entre la riqueza de aves y el número de troncos. Esta correlación tampoco tiene concordancia con lo reportado por otros estudios, donde

un mayor número de troncos muertos indica mayores recursos para el forrajeo de las aves y por lo tanto presentan una correlación positiva (Haaberry *et al.*, 2012). Una posible explicación a esta relación es un error metodológico. En el trabajo de campo, generalmente se consideró como tronco a cualquier árbol que se encontrara tirado, sin tomar en consideración que probablemente se tratara de un árbol derribado intencionalmente. Es decir, se tomó como una variable estructural positiva un elemento que probablemente indicaba algún grado de perturbación. De ser así, lo que el análisis indica es que la riqueza de especies es menor en áreas con mayor grado de perturbación antropogénica, una relación ampliamente documentada para el grupo de las aves (Lawton *et al.*, 1998; Gascon *et al.*, 1999; Brawn *et al.*, 2001).

### **Agrupaciones avifaunísticas en relación con la elevación y variables responsables**

Los análisis indican que las aves responden a cambios a través del gradiente y restringen su distribución en tres diferentes pisos altitudinales, que coinciden en gran medida con los grupos de vegetación. Por lo tanto se sugiere que la vegetación es uno de los factores que moldea la composición de las comunidades de aves, ya sea mediante cambios en su estructura (Robinson y Holmes, 1984), composición (Loc y Rotenberry, 2005), o variación en la disponibilidad de recursos (Blake y Loiselle, 2000; Martínez y Recchbergcr, 2007).

En este estudio se tomaron las variables que permiten caracterizar estructuralmente el tipo de vegetación de cada punto de conteo. Sin embargo, debido a que se incluyeron registros previos, bibliográficos y de colectas para analizar la composición de las comunidades de aves, no todos los sitios de registro cuentan con información necesaria para conocer la estructura precisa de las comunidades vegetales. No obstante, es necesario señalar cuatro aspectos de la selección de estos datos que permiten realizar inferencias generales sobre la estructura de la vegetación a partir de los datos colectados. 1) Sólo se consideraron registros que se hubieran realizado en los mismos tipos de vegetación que la muestreada en este estudio; 2) sólo se consideraron registros localizados en hábitats que actualmente tienen bajo grado de perturbación (vegetación primaria o secundaria), y que por lo tanto se asume que no han sufrido grandes cambios estructurales ni difieren mucho de los hábitats muestreados en este estudio, los cuales también se restringieron a hábitats con bajo grado de perturbación; 3) la mayoría de los registros agregados corresponden a muestreos realizados previamente por el autor (entre otros), y se realizaron en las mismas

áreas o en áreas muy cercanas a las muestreadas en este estudio, por lo que es posible mencionar que no difieren estructuralmente; 4) la mayoría de los registros agregados se localizaron en bosques tropicales y bosques mesófilos de montaña, por lo que los cambios estructurales entre la vegetación del piso 2 y 3, pueden ser documentados con precisión por los datos colectados en este estudio.

De esta manera, el primer piso altitudinal se constituye por aves cuyo hábitat se limita a bosques tropicales y bosques mesófilos de montaña, los cuales presentan una estructura y composición muy similar que los distingue de los otros tipos de vegetación (Apéndice B). Estos bosques muestran un sotobosque denso cuando están conservados (o se componen por arbustos de café de sombra cuando son intervenidos por el hombre), y un estrato arbóreo diverso (Challenger, 2003). Algunas de las aves se restringen a este piso, mientras que otras especies pueden ampliar su distribución al siguiente, aunque en menor medida. Por ejemplo, *Eupsittula canicularis* se considera indicadora debido a que habita principalmente selvas tropicales, y alcanza su límite altitudinal en el bosque mesófilo de montaña a 1 100 msnm. De acuerdo con Collar (1997), su dieta consiste en frutos y semillas de especies arbóreas restringidas al primer piso altitudinal, como *Ficus*, *Bursera*, *Brosimum*, *Inga* y *Ceiba* por lo que es probable que su distribución este limitada por la composición de la vegetación de este piso altitudinal. Por otro lado, *Buteo plagiatus* es considerada una especie asociada, pues aunque su distribución incluye principalmente selvas tropicales y bosques mesófilos, también se registró en menor medida en bosques de encino a 1 460 msnm, donde probablemente anide (Thiollay, 1994).

El segundo piso altitudinal corresponde a bosques de encino y de pino-encino, por lo que su avifauna no responde estrictamente a un tipo de vegetación. La escasez de especies indicadoras y la ausencia de especies asociadas sugieren que en este piso la estructura de la vegetación moldea la composición de la comunidad de aves (Estades, 1997; Nathan y Werner, 1999). Sus especies indicadoras *Empidonax albigularis*, *Vireo huttoni* y *Catherpes mexicanus*, sugieren la dominancia de hábitats arbóreos abiertos con crecimiento secundario arbustivo (Fitzpatrick et al., 2004; Kroodsmá y Brewer, 2005; Brewer y Orenstein, 2010), características que describen la estructura de la vegetación de este piso, y lo distinguen del tercer piso altitudinal.

En el tercer piso altitudinal el cambio en la composición de la avifauna coincide con un cambio

en la vegetación a exclusivamente bosques de pino-encino. A diferencia del piso anterior, se trata de bosques con bajo grado de perturbación y mayor complejidad estructural, lo cual se confirma por la presencia de aves como *Euphonia neoxenus* y *Certhia americana*, especies que se limitan a áreas extensas de bosques maduros, densos y con abundancia de grandes árboles muertos en pie (Collat, 2001; Harrap, 2008).

De esta manera, los análisis sugieren que la riqueza y composición de las especies están fuertemente ligados a los cambios que experimenta la vegetación a través del gradiente, por lo que la protección de las comunidades vegetales debería ser un eje fundamental en las estrategias de conservación. Estas estrategias deberán considerar además que tanto el endemismo como la riqueza de especies amenazadas se mantienen constantes a través del gradiente, señalando la importancia de considerar la totalidad del gradiente altitudinal para la conservación de estas especies.

#### Importancia del sur de Nayarit para la conservación

Actualmente existe un debate sobre qué aspecto de la diversidad es prioritario para los esfuerzos de conservación: la riqueza, el endemismo o las especies en peligro (Ceballos y Márquez, 2000). Conocer la distribución de las especies a través de gradientes altitudinales permite determinar los factores que más influyen sobre dicha distribución, y de esta forma se puede tener un mejor entendimiento de cómo podrían cambiar las comunidades de aves frente a diversos escenarios, cuáles especies y áreas serían las más afectadas, y por lo tanto a dónde deberían ir enfocados los esfuerzos de conservación.

En el sur de Nayarit la riqueza de especies se concentra en las partes bajas y medias del gradiente y es menor hacia las zonas más altas. No obstante, los cambios en la composición avifaunística indican que las especies endémicas y amenazadas se distribuyen de forma muy similar a través del gradiente. En la parte baja del gradiente, por ejemplo, habitan especies endémicas como *Ortalis wagleri*, *Calocitta colliei* y *Granatellus venustus*; además de especies con altos grados de amenaza a nivel nacional e internacional como *Thalureia ridgwayi*, *Ara militaris* y *Amazona finschi*. En el segundo piso del gradiente, los bosques de encino albergan un alto número de especies endémicas como *Lepidocolaptes leucogaster* y *Campylorhynchus gularis*, además de especies amenazadas como *Glaucidium palmarum* y *Forpus cyanopygius*. Finalmente, en

la parte más alta del gradiente, habitan los bosques de pino-encino especies endémicas como *Aphelocoma wallweberi* y *Cardellina rubra*, y especies bajo amenaza como *Euptilotis neoxenus*, *Cyanocorax dickeyi* y *Ridgwayia pinicola*. Muchas de las especies mencionadas, además, tienen una distribución restringida a un piso altitudinal o a un tipo de vegetación; *Cyanocorax dickeyi*, por ejemplo, es una especie con una distribución endémica al occidente del país, y considerada en peligro de extinción a nivel nacional, y sólo fue registrada en las partes más altas del gradiente en bosques de pino-encino.

Por otra parte, aunque este estudio no se diseñó para evaluar movimientos altitudinales, es necesario mencionar que se registraron algunas especies que probablemente se estén moviendo a través del gradiente. Por ejemplo, *Amazona finschi* es una especie conocida por distribuirse principalmente en bosques tropicales de tierras bajas y por utilizar también los bosques de pino-encino en las montañas (del Hoyo *et al.*, 2014). En este estudio, la mayoría de los registros de esta especie correspondieron a hábitats de tierras bajas, no obstante, también se le observó en una ocasión en los bosques de pino-encino, a 2600 msnm. Otro ejemplo se encontró con la especie *Ara militaris*, la cual se encontró principalmente en las partes bajas del gradiente, pero también se observó forrajeando en bosques de pino-encino, a 2700 msnm; una situación similar ha sido reportada por (Monterrubio-Rico *et al.* (2011)) para el estado de Michoacán.

De esta manera, los resultados de este estudio indican la importancia de incluir la totalidad del gradiente en los esfuerzos de conservación. Ya sea que se quieran conservar las especies endémicas o amenazadas, es necesario considerar que estas especies no están restringidas a ningún piso altitudinal y que por el contrario, muchas de ellas necesitan todo el gradiente a fin de encontrar los recursos que necesitan para sobrevivir.

## CONCLUSIONES

Se documentó la presencia de 275 especies para el sur de Nayarit, que representan el 94% de las aves terrestres del Estado.

La riqueza de especies es alta en las partes bajas del gradiente, alcanza su máximo valor en las partes medias, y disminuye hasta alcanzar su valor mínimo en las partes más altas del gradiente.

El comportamiento de la riqueza de especies con la elevación está determinado principalmente por la precipitación y por la influencia de cuerpos de agua, además de otros factores que en general se correlacionan con la estructura del hábitat.

De acuerdo a su composición las especies de aves se agrupan en tres pisos altitudinales, cada uno de ellos con una composición avifaunística particular donde resaltan especies indicadoras o asociadas que restringen en gran medida su distribución hacia determinado piso altitudinal.

Cada piso altitudinal está conformado por un grupo de vegetación particular, por lo que probablemente la vegetación determine la presencia de especies de aves.

Las especies prioritarias para la conservación (endémicas y amenazadas) presentan patrones de riqueza semejantes que se comportan de forma casi uniforme a través del gradiente. Lo anterior señala la importancia de considerar la totalidad de los gradientes altitudinales en las estrategias de conservación de la biodiversidad.

## LITERATURA CITADA

- Alegre, J., Hernández, A., Purroy, F. J. y Sánchez, A. J. 1989. Distribución altitudinal y patrones de afinidad trófica geográfica de la Lechuza Común (*Tyto alba*) en León. *Ardeola* 36: 41-54.
- Altamirano, T. A., Soriano, M., García, A. d. J., Miranda, N. P., Navarrete, N. A. y López, F. 2011. Recambio de aves en el gradiente Tajotla-El Rincón en el Municipio de Miaatlán, Morelos, México. *Revista de Zoología* 22: 43-62.
- Babb, K. A., Blanco, J. M., González, R. E., Navarrete, J. A., Téllez, O. y Vega, R. 2010. Serranías de Nayarit. Pp. 50-59. In: CONABIO (eds.). El bosque mesófilo de montaña en México: amenazas y oportunidades para su conservación y manejo sostenible. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.
- Barry, R. G. 2008. Mountain weather and climate. Cambridge University Press. New York.
- Bini, L. M., Diniz-Filho, J. A. F. y Hawkins, B. A. 2004. Macroecological explanations for differences in species richness gradients: a canonical analysis of South American birds. *Journal of Biogeography* 31: 1819-1827.
- Blake, J. G. y Loiselle, B. A. 2000. Diversity of birds along an elevational gradient in the Cordillera Central, Costa Rica. *The Auk* 117: 663-686.
- Blanco, J. M. 1994. Vegetación de la Sierra de San Juan, Nayarit, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bravo, O., Gómez, C. y Márquez, A. R. 2013. Composición florística del Ejido de Sayulita, Bahía de Banderas, Nayarit, México: Un análisis espacial. *Revista Bio Ciencias* 2: 172-188.
- Brawn, J., Robinson, S. K. y Thompson, F. 2001. The role of disturbance in the ecology and conservation of birds. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 32: 251-276.
- Brewer, D. y Ornstein, R. 2010. Family Vireonidae (Vireos). Pp. 378-439. In: del Hoyo, J., Elliott, A. y Christie, D. (eds.). *Handbook of the birds of the world*. Lynx Edicions. Barcelona.

- Brown, J. H. 2001. Mammals on mountainsides: elevational patterns of diversity. *Global Ecology and Biogeography* 10: 101-109.
- Cadena, C. D., Kozak, K. H., Gómez, J. P., Parra, J. L., McCain, C. M., Bowie, R. C. K., Carnaval, A. C., Moritz, C., Rahbek, C., Roberts, T. E., Sanders, N. J., Schneider, C. J., VanDerWal, J., Zamudio, K. R. y Graham, C. H. 2012. Latitude, elevational climatic zonation and speciation in New World vertebrates. *Proceedings of the Royal Society* 279: 194-201.
- Ceballos, G. y Márquez, L. 2000. *Las aves de México en peligro de extinción*. Fondo de Cultura Económica, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.
- Colwell, R. K. 2013. EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. [<http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/>]
- Colwell, R. K. y Coddington, J.A. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 345: 101-118.
- Collar, N. J. 2001. Family Trogonidae (Trogons). Pp. 80-129. *In*: del Hoyo, J., Elliott, A. y Sargatal, J. (eds.). *Handbook of the birds of the world*. Lynx Edicions, Barcelona.
- Cornell Lab of Ornithology. 2014. Macaulay Library. Cornell Lab of Ornithology. Ithaca, New York.
- Cuervo-Robayo, A. P., Téllez-Valdés, O., Gómez-Alboreo, M. A., Venegas-Barrera, C. S., Manjarrez, J. y Martínez-Meyer, E. 2013. An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology* 34: 2427-2437.
- Cupul-Magaña, F. G. 1999. La laguna El Quelefe, Nayarit, México, como hábitat de aves acuáticas. *Ciencia y Mar* 3: 23-32.
- Challenger, A. 2003. Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación. Pp. 17-44. *In*: Sánchez, G., Vega, E., Peters, E. y Morby-Vilchis, O. (eds.). *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. INE, SEMARNAT. México.

- Chaves-Campos, J. 2003. Changes in abundance of Crested Guan (*Penelope purpurascens*) and Black Guan (*Chamaepetes unicolor*) along an altitudinal gradient in Costa Rica. *Ornitología Neotropical* 14: 195-200.
- Chaves-Campos, J. 2004. Elevational movements of large frugivorous birds and temporal variation in abundance of fruits along an elevational gradient. *Ornitología Neotropical* 15: 433-445.
- Chesser, R. T., Banks, R. C., Burns, K. J., Cicero, C., Dunn, J. L., Kratter, A. W., Lovette, I. J., Navarro-Siguenza, A. G., Rasmussen, P. C., Remsen Jr, J. V., Rising, J. D., Stotz, D. F. y Winker, K. 2015. Fifty-sixth supplement to the American Ornithologists' Union: checklist of North American birds. *The Auk* 132: 748-764.
- De'Ath, G. y Fabricius, K. 2000. Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology* 81: 3178-3192.
- del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D. y de Juana, E. 2014. Handbook of the birds of the world alive. Lynx Edicions. Barcelona. [Disponible en: <http://www.hbw.com/node/61524>]
- Diéguez-Uribeondo, J., Sonty-Grosset, C., Reynolds, J., Muñoz, J. y Gherardi, F. 2011. Diversidad amenazada. Pp. 85-97. *In*: FECYT (eds.). Biodiversidad. El mosaico de la vida. Madrid.
- Drummond, H. y Canales, C. 1998. Dominance between booby nestlings involves winner and loser effects. *Animal Behaviour* 55: 1669-1676.
- Dunn, J. y Alderfer, J. 2006. Field guide to the birds of North America. National Geographic. Washington, D.C.
- Escalante, P. 1988. Aves de Nayarit. Universidad Autónoma de Nayarit. Tepic, Nayarit.
- Escalante, P., Navarro, A. y Peterson, T. 1998. Un análisis geográfico, ecológico e histórico de la diversidad de aves terrestres de México. Pp. 279-304. *In*: Ramamoorthy, T., Bye, R., Lot, A. y Fà, J. (eds.). Diversidad biológica de México: orígenes y distribución. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

- Escalante, P., Sada, A. M. y Robles, J. 2014. Listado de nombres comunes de las aves de México. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Espinosa, D., Occuveda, S., Aguilar, C., Flores, Ó., Llorente-Bousquets, J. y Vázquez, B. 2008. El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. Pp. 33-65. In: CONABIO (eds.). Capital natural de México. México.
- Estades, C. F. 1997. Bird-habitat relationships in a vegetational gradient in the Andes of Central Chile. *The Condor* 99: 719-727.
- Faaborg, J., Arendt, W. y Kaiser, M. 1984. Rainfall correlates of bird population fluctuations in a puerto rican dry forest: a nine year study. *Wilson Bulletin* 96: 575-593.
- Ferenc, M., Sedláček, O. y Fuchs, R. 2014. How to improve urban greenspace for woodland birds: site and local-scale determinants of bird species richness. *Urban Ecosystems* 17: 625-640.
- Fitzpatrick, J., Bates, J., Bostwick, K., Caballero, I., Clock, B., Farnsworth, A., Hosner, P., Joseph, L., Langham, G., Lebbin, D., Mobley, J., Robbins, M., Scholes, E., Tello, J., Walther, B. y Zimmer, K. 2004. Family Tyrannidae (Tyrant-flycatchers). Pp. 170-462. In: del Hoyo, J., Elliott, A. y Christie, D. (eds.). *Handbook of the birds of the world*. Lynx Edicions. Barcelona.
- Forey, P. L., Humphries, C. y Vane-Wright, R. 1994. Systematics and conservation evaluation. Oxford University Press. Oxford, New York.
- Fraser, K. C., Kysar, T. K. y Ratcliffe, L. M. 2008. Detecting altitudinal migration events in neotropical birds using stable isotopes. *Biotropica* 40: 269-272.
- García-Trejo, E. y Navarro, A. 2004. Patrones biogeográficos de la riqueza de especies y el endemismo de la avifauna en el oeste de México. *Acta Zoológica Mexicana* 20: 167-185.
- Gascon, C., Lovejoy, T., Bierregaard, R., Malcom, J., Stouffer, P., Vasconcelos, H., Laurance, W., Zimmerman, B., Tocher, M. y Borges, S. 1999. Matrix habitat and species richness in tropical forest remnants. *Biological Conservation* 91: 223-229.
- Gaston, K. J. 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature* 405: 220-227.

- Gaston, K. J. y Spicer, J. I. 2004. Biodiversity an introduction. Blackwell Publishing. United Kingdom.
- González-García, F. y Gómez de Silva, H. 2002. Especies endémicas: riqueza, patrones de distribución y retos para su conservación. Pp. 150-194. In: Gómez de Silva, H. y Oliveras de Ita, A. (eds.). Conservación de aves: experiencias en México. Sociedad para el Estudio y Conservación de las Aves en México AC. Mexico, D.F.
- González-Oreja, J., de la Fuente-Díaz-Ordaz, A., Hernández-Santín, L., Buzo-Franco, D. y Bonache-Regidor, C. 2010. Evaluación de estimadores no paramétricos de la riqueza de especies. Un ejemplo con aves en áreas verdes de la ciudad de Puebla, México. *Animal Biodiversity and Conservation* 33: 31-45.
- Gotelli, N. J. y Colwell, R. K. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters* 4: 379-391.
- Gotelli, N. J. y Colwell, R. K. 2011. Estimating species richness. Pp. 39-54. In: Magurran, A. E. y McGill, B. J. (eds.). *Frontiers in measuring biodiversity*. Oxford University Press. Oxford, New York.
- Grant, P. R. 1965. A systematic study of the terrestrial birds of the Tres Marias Islands, Mexico. *Postilla* 90: 1-106.
- Guerrero, R. y Sarmiento, C. 2010. Distribución altitudinal de hormigas (hymenoptera, formicidae) en la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). *Acta Zoológica Mexicana* 26: 279-302.
- Hahn, T. P., Sockman, K. W., Breuner, C. W. y Morton, M. L. 2004. Facultative altitudinal movements by mountain White-crowned Sparrows (*Zonotrichia leucophrys*). *The Auk* 121: 1269-1281.
- Hanberry, B., Hanberry, P., Demarais, S. y Jones, J. 2012. Importance of residual trees to birds in regenerating pine plantations. *iForest* 5: 108-112.
- Harrap, S. 2008. Family Certhiidae (Treecreepers). Pp. 166-179. In: del Hoyo, J., Elliott, A. y Christie, D. (eds.). *Handbook of the birds of the world*. Lynx Edicions. Barcelona.

- Harris, J. y Woolf, M. 2006. Plant identification terminology. Spring Lake Publishing. Spring Lake, Utah.
- Hart, P. J., Woodworth, B. L., Camp, R. J., Turner, K., McClure, K., Goodall, K., Henneman, C., Spiegel, C., Lebrun, J., Tweed, E. y Samuel, M. 2011. Temporal variation in bird and resource abundance across an elevational gradient in Hawaii. *The Auk* 128: 113-126.
- Hawkins, A. F. 1999. Altitudinal and latitudinal distribution of east Malagasy forest bird communities. *Journal of Biogeography* 26: 447-458.
- Hawkins, B. A., Field, R., Cornell, H. V., Currie, D. J., Guégan, J.-F., Kauffman, D. M., Kerr, J. T., Mittelbach, G. G., Oberdorff, T., O'Brien, E. M., Porter, E. E. y Turner, J. R. G. 2003. Energy, water and broad-scale geographic patterns of species richness. *Ecology* 84: 3105-3117.
- Henslow, J. 2009. A dictionary of botanical terms. Cambridge University Press. New York.
- Herzog, S. K., Kessler, M. y Bach, K. 2005. The elevational gradient in Andean bird species richness at the local scale: a foothill peak and a high-elevation plateau. *Ecography* 28: 209-222.
- Hill, M. y Šmilauer, P. 2005. TWINSpan for Windows. Centre for Ecology & Hydrology and University of South Bohemia, Huntingdon & České Budejovice.
- Howell, S. y Webb, S. 1995. A guide to the birds of Mexico and Northern Central America. Oxford University Press. Oxford, New York.
- Hutto, R., Pletschet, S. y Hendricks, P. 1986. A fixed-radius point count method for nonbreeding and breeding season use. *The Auk* 103: 593-602.
- INEGI. 2000. Síntesis de información geográfica del estado de Nayarit. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, D.F.
- INEGI. 2013. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. 1:250000. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- IUCN. 2014. The IUCN red list of threatened species. International Union for Conservation of Nature. Cambridge, UK.

- Jankowski, J. E., Ciecka, A. L., Meyer, N. Y. y Rabenold, K. N. 2009. Beta diversity along environmental gradients: implications of habitat specialization in tropical montane landscapes. *Journal of Animal Ecology* 78: 315-327.
- Jiménez-Valverde, A. y Hortal, J. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*: 151-161.
- Juarez, C. y Dickerman, R. W. 1972. Nestling development of Boat-billed Herons (*Cochlearius cochlearius*) at San Blas, Nayarit, Mexico. *The Wilson Bulletin* 84: 456-468.
- Kattan, G. H. y Franco, P. 2004. Bird diversity along elevational gradients in the Andes of Colombia: area and mass effects. *Global Ecology and Biogeography* 13: 451-458.
- Koleff, P., Soberón, J., Arita, H. T., Dávila, P., Flores-Villela, O., Golubov, J., Halffter, G., Lira-Noriega, A., Moreno, C. E., Moreno, E., Munguía, M., Navarro-Siguenza, A. G., Téllez, O., Ochoa-Ochoa, L., Peterson, A. T. y Rodríguez, P. 2008. Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies. Pp. 323-364. *In: Soberón, J., Halffter, G. y Llorente-Bousquets, J. (eds.) Capital Natural de México: conocimiento actual de la biodiversidad.* CONABIO, México, DF.
- Körner, C. 2000. Why are there global gradients in species richness? Mountain might hold the answer. *Trends in Ecological Evolution* 15: 513-514.
- Kroodsma, D. y Brewer, D. 2005. Family Troglodytidae (Wrens). Pp. 356-447. *In: del Hoyo, J., Elliott, A. y Christie, D. (eds.) Handbook of the birds of the world.* Lynx Edicions, Barcelona.
- Latta, S. C., Rimmer, C. C. y McFarland, K. P. 2003. Winter bird communities in four habitats along an elevational gradient on Hispaniola. *The Condor* 105: 179-197.
- Lawton, J., Bigslett, D., Bolton, B., Bloemers, G., Eggleton, P., Hammoud, P., Hodda, M., Holt, R., Srivastava, D. y Watt, A. 1998. Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. *Letters to Nature* 391: 72-76.

- Lee, P.-F., Ding, T.-S., Hsu, F.-H. y Geng, S. 2004. Breeding bird species richness in Taiwan: Distribution on gradients of elevation, primary productivity and urbanization. *Journal of Biogeography* 31: 307-314.
- Lee, P.-Y. y Rotenberry, J. T. 2005. Relationships between bird species and tree species assemblages in forested habitats of eastern North America. *Journal of Biogeography* 32: 1139-1150.
- Lomolino, M. V. 2001. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography* 10: 3-13.
- Llorente, J., Papaverio, N. y Bueno, A. 2000. Síntesis histórica de la biogeografía. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias* 24: 255-278.
- MacGregor-Fors, I., Ortega-Álvarez, R., Barrera-Guzmán, A. y Sevillano 2013. Tama-risk? Avian responses to the invasion of saltcedars (*Tamarix ramosissima*) in Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84: 1284-1291.
- MacGregor-Fors, I. y Payton, M. E. 2013. Contrasting diversity values: statistical inferences based on overlapping confidence intervals. *PLoS ONE* 8: 1-4.
- Mallet-Rodrigues, F., Parrini, R., Pimentel, L. y Bessa, R. 2010. Altitudinal distribution of birds in a mountainous region in southeastern Brazil. *Zoologia* 27: 503-522.
- Martínez, O. y Rechberger, J. 2007. Características de la avifauna en un gradiente altitudinal de un bosque nublado andino en La Paz, Bolivia. *Revista Peruana de Biología* 14: 225-236.
- McAleece, N., Gage, J., Lamshead, P. y Paterson, G. 1997. BioDiversity Professional statistics analysis software. Scottish Association for Marine Science and the Natural History Museum London. London, United Kingdom.
- McCain, C. M. 2007a. Area and mammalian elevational diversity. *Ecology* 88: 76-86.
- McCain, C. M. 2007b. Could temperature and water availability drive elevational species richness patterns? A global case study for bats. *Global Ecology and Biogeography* 16: 1-13.

- McCain, C. M. 2009. Global analysis of bird elevational diversity. *Global Ecology and Biogeography* 18: 346-360.
- McCain, C. M. y Grytnes, J. A. 2010. Elevational gradients in species richness. Pp. 1-10. *In*: (eds.) *Encyclopedia of Life Sciences*. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester.
- McCune, B. y Mefford, M. 1999. *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data*. MjM Software Design. Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.
- Medina-Macias, M. N., González-Bernal, M. y Navarro-Sigüenza, A. 2010. Distribución altitudinal de las aves en una zona prioritaria en Sinaloa y Durango, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 487-503.
- Molina, K. C., Garrett, K. L., Larson, K. W. y Craig, D. P. 2009. The winter distribution of the western Gull-billed Tern (*Gelochelidon nilotica vanrossemi*). *Western Birds* 40: 2-20.
- Monterrubio-Rico, T. C., De Labra-Hernández, M. Á., Ortega-Rodríguez, J. M., Cancino-Murillo, R. y Villaseñor, J. F. 2011. Distribución actual y potencial de la guacamaya verde en Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 1311-1319.
- Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA. Zaragoza, España.
- Mörtberg, U. 2001. Resident bird species in urban forest remnants; landscape and habitat perspectives. *Landscape Ecology* 16: 193-203.
- Mueller-Dombois, D. y Ellenberg, H. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley & Sons, Ltd. New York.
- Murguía, E. 2007. Factors influencing the bird community of urban wooded streets along an annual cycle. *Ornis Fennica* 84: 66-77.
- Nathan, R. y Werner, Y. 1999. Raptiles and breeding birds on Mt. Hermon: patterns of altitudinal distribution and species richness. *Israel Journal of Zoology* 45: 1-33.
- Navarro, A. G. 1989. La sistemática ornitológica en México, posibilidades y limitaciones. *Ciencias* 3: 96-102.



- Navarro, A. G. 1992. Altitudinal distribution of birds in the Sierra Madre del Sur. Guerrero, México. *The Condor* 94: 29-39.
- Navarro, A. G. y Benitez, H. 1993. Patrones de riqueza y endemismo de las aves. *Ciencias* 7: 45-54.
- Navarro, A. G. y Sánchez-González, L. A. 2002. La diversidad de las aves. Pp. 24-85. *Ir: Gómez de Silva, H. y Oliveras de Ita, A. (eds.). Conservación de aves: experiencias en México. Sociedad para el Estudio y Conservación de las Aves en México AC. México, D. F.*
- Nor, S. M. D. 2001. Elevational diversity patterns of small mammals on Mount Kinabalu, Sabah, Malaysia. *Global Ecology and Biogeography* 10: 41-62.
- Pearson, R. G. y Dawson, T. P. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography* 12: 361-371.
- Peh, K. 2007. Potential effects of climate change on elevational distributions of tropical birds in southeast Asia. *The Condor* 109: 437-431.
- Peterson, R. y Chalif, E. 1973. *A field guide to mexican birds.* Peterson Field Guides; Houghton Mifflin. Boston, Massachusetts.
- Pianka, E. R. 1966. Latitudinal gradients in species diversity: a review of concepts. *The American Naturalist* 100: 33-46.
- Politi, N. y Rivera, L. O. 2005. Abundance and distribution of parrots along the elevational gradient of Calilegua National Park, Argentina. *Ornitología Neotropical* 16: 43-52.
- Purcell, K. 2006. Abundance and productivity of Warbling Vireos across an elevational gradient in the Sierra Nevada. *The Condor* 108: 315-325.
- R Core Team. 2015. *R: A language and environment for statistical computing.* R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. [<http://www.R-project.org/>]
- Rahbek, C. 1995. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography* 18: 200-205.

- Rahbek, C. 2005. The role of spatial scale and the perception of large-scale species-richness patterns. *Ecology letters* 8: 224-239.
- Ralph, C., Geupel, G., Pyle, P., Martin, T. y DeSante, D. 1993. *Handbook of field methods for monitoring landbirds*. Pacific Southwest Research Station Albany. Albany, California.
- Rebón-Gallardo, F. 2000. Distribución, abundancia y conservación de la avifauna de las islas Marietas, Nayarit, México. *Anales del Instituto de Biología UNAM Serie Zoología* 71: 59-88.
- Robinson, S. K. y Holmes, R. T. 1984. Effects of plant species and foliage structure on the foraging behavior of forest birds. *The Auk* 101: 672-684.
- Rosenzweig, M. L. 1995. *Species diversity in space and time*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Salvador, J. y Álvarez-Sánchez, J. 2004. Flora y vegetación. Pp. 303-327. *In*: Bautista, F., Delfín, H., Palacio, J. y Delgado, M. (eds.). *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*. Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma de Yucatán, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Instituto Nacional de Ecología. México, D.F.
- SEMARNAT. 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*. México, D.F.
- Sibley, D. 2000. *The Sibley Guide to Birds*. Alfred A. Knopf. Hong Kong, Japón.
- Sizling, A. L., Kunin, W. E., Sizlingova, E., Reif, J. y Storch, D. 2011. Between geometry and biology: the problem of universality of the species-area relationship. *The American Naturalist* 178: 602-611.
- Stotz, D. F., Fitzpatrick, J. W., Parker III, T. A. y Moskovits, D. K. 1996. *Neotropical birds: ecology and conservation*. University of Chicago Press. Chicago.

- Sua, S. M., Sanabria, M., Darío, R. y Vargas, J. C. 2005. Georreferenciación de registros biológicos y gacetero digital de localidades. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.
- Terborgh, J. 1971. Distribution on environmental gradients: theory and a preliminary interpretation of distributional patterns in the avifauna of the Cordillera Vilcabamba, Peru. *Ecology* 52: 23-40.
- Terborgh, J. 1977. Bird species diversity on an andean elevational gradient. *Ecology* 58: 1007-1019.
- Terborgh, J. y Weske, J. 1975. The role of competition in the distribution of andean birds. *Ecology* 56: 562-576.
- Thiollay, J. M. 1991. Altitudinal distribution and conservation of raptors in southwestern Colombia. *The Journal of Raptor Research* 25: 1-8.
- Thiollay, J. M. 1994. Family Accipitridae (Hawks and Eagles). Pp. 52-205. In: del Hoyo, J., Elliot, A. y Sargatal, J. (eds.). *Handbook of the birds of the world*. Lynx Edicions. Barcelona.
- Van Perlo, B. 2006. *Birds of Mexico and Central America*. Princeton University Press.
- Villaseñor-Gómez, J. F. 2008. Habitat use of wintering bird communities in Sonora, México: the importance of riparian habitats. *Studies in Avian Biology* 37: 53-68.
- Villaseñor, J. F. 2006. Habitat use and the effects of disturbance on wintering birds using riparian habitats in Sonora, Mexico. Tesis de Doctorado. The University of Montana. Missoula.
- Vrezec, A. 2003. Breeding density and altitudinal distribution of the ural, Tawny and Boreal Owls in North Dinaric Alps (Central Slovenia). *Journal of Raptor Research* 37: 55-62.
- Walther, B. A. y Moore, J. L. 2005. The concepts of bias, precision and accuracy, and their use in testing the performance of species richness estimators, with a literature review of estimator performance. *Ecography* 28: 815-829.
- Walther, B. A. y Morand, S. 1998. Comparative performance of species richness estimation methods. *Parasitology* 116: 395-405.

- Wilson, R. E., Valqui, T. H. y McCracken, K. G. 2010. Ecogeographic variation in Cinnamon Teal (*Anas cyanoptera*) along elevational and latitudinal gradients. *Ornithological Monographs* 67: 141-161.
- Willis, K. y Whitaker, R. 2002. Species diversity — Scale matters. *Science* 295: 1245-1248.
- Wright, D. 1983. Species-energy theory: an extension of species-area theory. *Oikos* 41: 496-506.
- Xeno-Canto Foundation. 2014. Compartiendo cantos de aves de todo el mundo. Xeno-canto Foundation. Amsterdam.
- Young, B. E., DeRosier, D. y Powell, G. V. 1998. Diversity and conservation of understory birds in the Tilarán Mountains, Costa Rica. *The Auk* 115: 998-1016.



**Apéndice A.** Listado de las especies incluidas en este estudio. **Endemismo:** EN = endémica; SE = semiendémica, CU = cuasiendémica. **NOM-ECOL-059:** Pr = sujeta a protección especial; Am = amenazada; Pe = en peligro de extinción. **RedList:** LC = preocupación menor; VU = vulnerable; NT = casi amenazado; EN = en peligro de extinción. **Residencia:** RP = residente permanente; RM = residente con poblaciones migratorias; RV = residente de verano; VI = visitante de invierno; TR = transitoria; AC = accidental. Se muestran los nueve intervalos altitudinales muestreados y el **tipo de registro** de cada especie de ave, donde E = registrado durante este estudio; P = registrado durante estudios previos; B = registro bibliográfico; C = registro de colectas.

| Especie                         | Nombres comunes            | Endemismo | NOM-ECOL-059 | RedList | Residencia | 0-300 | 301-600 | 601-900 | 901-1200 | 1201-1500 | 1501-1800 | 1801-2100 | 2101-2400 | 2401-2700 |
|---------------------------------|----------------------------|-----------|--------------|---------|------------|-------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Tinamiformes</b>             |                            |           |              |         |            |       |         |         |          |           |           |           |           |           |
| <b>Tinamidae</b>                |                            |           |              |         |            |       |         |         |          |           |           |           |           |           |
| <i>Crypturellus cinnamomeus</i> | Tinamú castaño             |           | Pr           | LC      | RP         | C     | P,E     |         |          | E         |           |           |           |           |
| <b>Galliformes</b>              |                            |           |              |         |            |       |         |         |          |           |           |           |           |           |
| <b>Cuculidae</b>                |                            |           |              |         |            |       |         |         |          |           |           |           |           |           |
| <i>Oriolus wagleri</i>          | Chachalaca vientre castaño | EN        |              | LC      | RP         | C,P,E | P,E     | P       |          | E         |           |           |           |           |
| <i>Penelope purpurascens</i>    | Pava cojolita              |           | Am           | LC      | RP         | E     | P,E     | P,E     |          | E         |           |           |           |           |
| <b>Odiroptoridae</b>            |                            |           |              |         |            |       |         |         |          |           |           |           |           |           |
| <i>Callipepla douglasi</i>      | Codorniz cresta dorada     | EN        |              | LC      | RP         | B,C   | P       |         | C,E      |           |           |           |           |           |
| <i>Cyrtonyx montezumae</i>      | Codorniz Moctezuma         |           | Pr           | LC      | RP         |       |         |         |          |           |           |           | E         | E         |
| <b>Phasianidae</b>              |                            |           |              |         |            |       |         |         |          |           |           |           |           |           |
| <i>Meleagris gallopavo</i>      | Guajolote nortico          |           |              | LC      | RP         |       |         |         |          |           |           |           | E         | E         |
| <b>Accipitriformes</b>          |                            |           |              |         |            |       |         |         |          |           |           |           |           |           |
| <b>Cathartidae</b>              |                            |           |              |         |            |       |         |         |          |           |           |           |           |           |
| <i>Coragyps atratus</i>         | Zopilote común             |           |              | LC      | RP         | B,P,E | P       | P,E     |          | P,E       | P         |           | E         |           |
| <i>Cathartes aura</i>           | Zopilote aura              |           |              | LC      | RP         | P,E   | P,E     | P,E     | P,E      | P,E       | P,E       |           | E         |           |
| <b>Accipitridae</b>             |                            |           |              |         |            |       |         |         |          |           |           |           |           |           |



**Apéndice A (continuación)**

|                                |                        |    |    |    |    |         |     |     |     |   |     |
|--------------------------------|------------------------|----|----|----|----|---------|-----|-----|-----|---|-----|
| <i>Praya cayana</i>            | Cuchillo canela        |    |    | LC | RP | B,C,P,E | P,E | P,E | P,E |   |     |
| <i>Coccyzus minor</i>          | Cuchillo manglero      |    |    | LC | RP | P       |     |     |     |   |     |
| <i>Geococcyx velox</i>         | Corocaminos tropical   |    |    | LC | RP |         |     |     |     |   | P   |
| <i>Crotophaga sulcirostris</i> | Garrapatero pijuy      |    |    | LC | RP | B,C,P,E | P   |     |     |   |     |
| <b>Strigiformes</b>            |                        |    |    |    |    |         |     |     |     |   |     |
| <b>Strigidae</b>               |                        |    |    |    |    |         |     |     |     |   |     |
| <i>Megascops trichopsis</i>    | Tecolote rímico        |    |    | LC | RP |         |     |     |     |   | E E |
| <i>Megascops guatemalae</i>    | Tecolote vermiculado   |    |    | LC | RP | C       |     |     |     |   |     |
| <i>Bubo virginianus</i>        | Búho cornudo           |    |    | LC | RP |         |     |     |     |   | E   |
| <i>Glaucidium gnoma</i>        | Tecolote serrano       |    |    | LC | RP |         |     |     |     | b | E E |
| <i>Glaucidium palmarum</i>     | Tecolote colimense     | EN | Am | LC | RP | B,C,E   | P,E | P,E | E   | E |     |
| <i>Glaucidium brasilianum</i>  | Tecolote bajoño        |    |    | LC | RP | B,C,P,E | P,E | P,E | E   | E |     |
| <i>Athene cunicularia</i>      | Tecolote llanero       |    | Pr | LC | VJ | C       |     |     |     |   |     |
| <i>Ciccaba virgata</i>         | Búho café              |    |    | LC | RP | C,P,E   |     | P,E |     |   | E   |
| <b>Caprimulgiformes</b>        |                        |    |    |    |    |         |     |     |     |   |     |
| <b>Caprimulgidae</b>           |                        |    |    |    |    |         |     |     |     |   |     |
| <i>Chordeiles acutipennis</i>  | Chotacabras menor      |    |    | LC | RP | B       |     |     |     |   |     |
| <i>Nyctinomus albicollis</i>   | Chotacabras pauraque   |    |    | LC | RP | B,C,P   |     |     |     |   |     |
| <i>Antrostomus arizonae</i>    | Tapacaminos cuerporrúa |    |    | LC | RP |         |     |     |     |   | C E |
| <b>Apodiformes</b>             |                        |    |    |    |    |         |     |     |     |   |     |
| <b>Apodidae</b>                |                        |    |    |    |    |         |     |     |     |   |     |
| <i>Streptoprocne zonaris</i>   | Vencejo cuello blanco  |    |    | LC | AC |         | P   | P   | E   |   |     |
| <i>Chaetura vauxi</i>          | Vencejo de Vaux        |    |    | LC | RP | B,C     |     |     | E   |   |     |
| <i>Aeronautes saxatalis</i>    | Vencejo pecho blanco   |    |    | LC | RP |         |     |     |     |   | E E |
| <b>Troglodidae</b>             |                        |    |    |    |    |         |     |     |     |   |     |
| <i>Phaethornis mexicanus</i>   | Ermitaño cola larga    | EN |    | LC | RP | B,C     | P,E | P,E | P,E |   |     |
| <i>Eugenes fulgens</i>         | Colibrí magnífico      |    |    | LC | RP |         |     |     |     |   | E   |
| <i>Helminaster constantii</i>  | Colibrí picudo         |    |    | LC | RP | C,P,E   |     | E   | P   |   |     |
| <i>Lampornis clemenciae</i>    | Colibrí garganta azul  | SE |    | LC | RP |         |     |     | P   |   |     |

**Apéndice A (continuación)**

|                                |                         |    |    |    |    |         |     |       |     |     |     |         |
|--------------------------------|-------------------------|----|----|----|----|---------|-----|-------|-----|-----|-----|---------|
| <i>Tilmatura dipontii</i>      | Colibrí cola pinta      |    | Am | LC | RP | C       |     |       | B   | C   |     |         |
| <i>Colothorax lucifer</i>      | Colibrí lucifer         | SE |    | LC | RM |         |     |       |     | C   |     |         |
| <i>Archilochus colubris</i>    | Colibrí garganta rubí   |    |    | LC | V1 | C,P     |     | C     |     |     |     | E       |
| <i>Archilochus alexandri</i>   | Colibrí barba negra     | SE |    | LC | V1 | C       |     | P     |     |     |     | E E     |
| <i>Calypte costae</i>          | Colibrí cabeza violeta  |    |    | LC | V1 | C       |     |       |     |     |     |         |
| <i>Atthis heloisa</i>          | Zumbador mexicano       | EN |    | LC | RP |         |     |       | F   | F   |     | E E     |
| <i>Selasphorus platycercus</i> | Zumbador cola ancha     | SE |    | LC | RP |         |     |       |     |     |     | E E     |
| <i>Selasphorus rufus</i>       | Zumbador rufo           |    |    | LC | V1 |         |     |       |     |     | E   | E       |
| <i>Selasphorus calliope</i>    | Colibrí garganta rayada | SE |    | LC | V1 |         |     | P     |     |     |     |         |
| <i>Chlorostilbon auriceps</i>  | Esmeralda mexicana      | EN |    | LC | RP | C,P,E   | P   | P,E   | P,E | E   |     |         |
| <i>Cyanthus latirostris</i>    | Colibrí pico ancho      | SE |    | LC | RP | C,P,E   | E   | P,E   | P,E | E   | E   | E       |
| <i>Thalurania ridgwayi</i>     | Ninfa mexicana          | EN | Am | VU | RP |         |     | B,P,E | P,E | P,E |     |         |
| <i>Amazilia beryllina</i>      | Colibei berilo          |    |    | LC | RP | C       |     | P,E   | P,E | P,E | C,E | E P,E E |
| <i>Amazilia rufila</i>         | Colibei canela          |    |    | LC | RP | C,P,E   |     | P,E   | P,E | E   |     |         |
| <i>Amazilia violiceps</i>      | Colibei corona violeta  | SE |    | LC | RP | C,P     |     | E     |     |     |     | E       |
| <i>Hylocharis leucotis</i>     | Zafiro oreja blanca     |    |    | LC | RP |         |     |       |     |     | E   | P,E E E |
| <b>Trogoniformes</b>           |                         |    |    |    |    |         |     |       |     |     |     |         |
| <b>Trogonidae</b>              |                         |    |    |    |    |         |     |       |     |     |     |         |
| <i>Trogon citreolus</i>        | Trogon citrino          | EN |    | LC | RP | B,C,P,E | P,E | P,E   | P   | E   | E   |         |
| <i>Trogon elegans</i>          | Trogon elegante         |    |    | LC | RP | B,C,P,E | P,E | P,E   | E   | E   | E   | E       |
| <i>Trogon mexicanus</i>        | Trogon mexicano         |    |    | LC | RP |         |     |       |     |     |     | E       |
| <i>Euphonia newtoni</i>        | Trogon orejón           | CE | Am | NT | RP |         |     |       |     |     |     | E E     |
| <b>Coccyziformes</b>           |                         |    |    |    |    |         |     |       |     |     |     |         |
| <b>Monotidae</b>               |                         |    |    |    |    |         |     |       |     |     |     |         |
| <i>Monotus mexicanus</i>       | Monoto corona café      | CE |    | LC | RP | B,C,P,E | P   | P,E   | E   | E   |     |         |
| <b>Piciformes</b>              |                         |    |    |    |    |         |     |       |     |     |     |         |
| <b>Picidae</b>                 |                         |    |    |    |    |         |     |       |     |     |     |         |
| <i>Melanerpes formicivorus</i> | Carpintero bellotero    |    |    | LC | RP |         |     |       |     | E   | P,E | E E E   |
| <i>Melanerpes chrysogenys</i>  | Carpintero enmascarado  | EN |    | LC | RP | B,C,P,E | P,E | P,E   | P,E |     |     |         |

**Apéndice A (continuación)**

|                                   |                               |    |    |    |         |       |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------------|-------------------------------|----|----|----|---------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <i>Sphyrapicus varius</i>         | Chapaspava maculado           |    | LC | VI |         |       |     |     |     | E   | E   |     | E   |
| <i>Sphyrapicus nuchalis</i>       | Chapaspava nuca roja          |    | LC | VI |         |       |     | P   |     |     |     |     | E   |
| <i>Picoides scalaris</i>          | Carpintero mexicano           |    | LC | RP | P       | P     | P,E | P,E | E   |     | B,P |     |     |
| <i>Picoides villosus</i>          | Carpintero vellosito mayor    |    | LC | RP |         |       |     |     |     |     | E   |     |     |
| <i>Picoides arizonae</i>          | Carpintero de Arizona         | CE | LC | RP |         |       |     |     |     |     | E   | P,E | E   |
| <i>Colaptes auricularis</i>       | Carpintero corona gris        | EN | LC | RP |         | P     | P   | E   | C,E |     |     |     |     |
| <i>Colaptes auratus</i>           | Carpintero-de-pechera norteño |    | LC | RP |         |       |     |     |     |     |     |     | E   |
| <i>Dryocopus lineatus</i>         | Carpintero lineado            |    | LC | RP | B,C,P,E | P,E   | P   | E   |     |     |     |     |     |
| <i>Campophilus guatemalensis</i>  | Carpintero pico plata         | Pr | LC | RP | C,P,E   | P,E   | P,E | E   |     |     |     |     |     |
| <b>Falconiformes</b>              |                               |    |    |    |         |       |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>Falconidae</b>                 |                               |    |    |    |         |       |     |     |     |     |     |     |     |
| <i>Micrasurus semitorquatus</i>   | Halcón-selvático de collar    | Pr | LC | RP | C,P,E   | E     |     | E   | E   |     |     |     |     |
| <i>Caracara cheriway</i>          | Caracara quebrantahuesos      |    | LC | RP | B,P     |       |     |     |     |     |     |     |     |
| <i>Herpethores cachinnans</i>     | Halcón guaco                  |    | LC | RP | P,E     | P,E   | P,E |     |     |     |     |     |     |
| <i>Falco sparverius</i>           | Ceruilco americano            |    | LC | VI | B,C,P   |       | P,E |     | E   | P   | E   |     |     |
| <i>Falco rufigularis</i>          | Halcón enano                  |    | LC | RP | P,E     | P     |     |     |     |     |     |     |     |
| <i>Falco peregrinus</i>           | Halcón peregrino              | Pr | LC | RP |         |       |     |     |     |     |     |     | P   |
| <b>Psittaciformes</b>             |                               |    |    |    |         |       |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>Psittacidae</b>                |                               |    |    |    |         |       |     |     |     |     |     |     |     |
| <i>Eupsittula canicularis</i>     | Perico frente naranja         | Pr | LC | RP | B,C,P,E | P,E   | P,E | P,E |     |     |     |     |     |
| <i>Ara militaris</i>              | Guacamaya verde               | Pe | VU | RP | B,P,E   | P,E   | E   | E   |     |     |     |     | E   |
| <i>Forpus cyanopygius</i>         | Perico catarina               | EN | LC | RP | C,E     | P     | E   |     |     | C   |     |     |     |
| <i>Amazona albifrons</i>          | Loro frente blanca            | Pr | LC | RP | B,C     |       |     |     |     |     |     |     |     |
| <i>Amazona finschi</i>            | Loro corona lila              | EN | Pe | EN | RP      | B,C,E | P,E | E   | E   |     |     |     | E E |
| <b>Passeriformes</b>              |                               |    |    |    |         |       |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>Tyrannidae</b>                 |                               |    |    |    |         |       |     |     |     |     |     |     |     |
| <i>Xiphorhynchus flavigaster</i>  | Trepatroncos bigonado         |    | LC | RP | B,C,P,E | P,E   | P,E | P,E | E   |     |     |     |     |
| <i>Lepidocolaptes leucogaster</i> | Trepatroncos escarchado       | EN | LC | RP |         |       |     |     | E   | B,E | E   | E   | E   |
| <b>Tyrannidae</b>                 |                               |    |    |    |         |       |     |     |     |     |     |     |     |

**Apéndice A (continuación)**

|                                   |                          |       |    |    |         |     |     |     |   |       |         |
|-----------------------------------|--------------------------|-------|----|----|---------|-----|-----|-----|---|-------|---------|
| <i>Camptostoma imberbe</i>        | Mosquero lampiño         |       | LC | RP | C,P,E   | E   | E   | P,E | E | E     | E       |
| <i>Myiopsis viridicata</i>        | Elena verdosa            |       | LC | RP | B,C,E   |     | P,E | P   |   | E     | E       |
| <i>Mitrophanes phaeocercus</i>    | Mosquero copetón         |       | LC | RP | C,E     |     | P,E | P,E | C | B,P,E | P,E E E |
| <i>Contopus pertinax</i>          | Pibi tengo frío          |       | LC | RP | C,P,E   | P,E | P,E | P,E | E | B,P,E | P,E E E |
| <i>Contopus zonalatus</i>         | Pibi occidental          |       | LC | TR |         |     |     |     | E |       | E       |
| <i>Empidonax traillii</i>         | Mosquero saucero         |       | LC | VI | C       |     |     |     |   |       |         |
| <i>Empidonax albigularis</i>      | Mosquero garganta blanca |       | LC | RM |         |     |     |     | E | E     | E       |
| <i>Empidonax minimus</i>          | Mosquero mínimo          |       | LC | VI | B,C     |     |     |     |   |       |         |
| <i>Empidonax oberholseri</i>      | Mosquero oscuro          | SE    | LC | VI |         |     |     |     | C |       |         |
| <i>Empidonax affinis</i>          | Mosquero pinero          | CE    | LC | RP |         |     |     |     |   |       | E E     |
| <i>Empidonax difficilis</i>       | Mosquero californiano    | SE    | LC | VI | C,P,E   | P,E | E   |     |   |       |         |
| <i>Empidonax occidentalis</i>     | Mosquero barranqueño     | SE    | LC | RM | P,E     | E   | E   | G   | E | E     | E E     |
| <i>Empidonax fulvifrons</i>       | Mosquero pecho leonado   |       | LC | RP |         |     |     |     |   | E     | P,E E   |
| <i>Sayornis saya</i>              | Papamoscas llanero       |       | LC | VI |         |     |     |     |   | P     |         |
| <i>Pyrocephalus rubinus</i>       | Mosquero cardenal        |       | LC | RP | B,C,P   |     | C   |     | P | P,E   | E       |
| <i>Attila spadiceus</i>           | Mosquero atila           |       | LC | RP | C,P,E   | P,E | P,E | E   | I | E     | E       |
| <i>Myiarchus tuberculifer</i>     | Papamoscas triste        |       | LC | RP | C,P,E   | P,E | P,E | P,E | I | P,E   | P,E     |
| <i>Myiarchus cinerascens</i>      | Papamoscas cenizo        |       | LC | VI | B,C,E   |     | I   |     |   |       |         |
| <i>Myiarchus nuttingi</i>         | Papamoscas de Nutting    |       | LC | RP | B,F     |     | E   |     |   |       | U       |
| <i>Myiarchus tyrannulus</i>       | Papamoscas tirano        |       | LC | RP | C,P,I   |     |     |     |   |       | P,E     |
| <i>Deliarhynchus flammeolatus</i> | Papamoscas jaspeado      | EN Pr | LC | RP | C,I     |     |     |     |   |       |         |
| <i>Pirangus sulphuratus</i>       | Luis bien-te-veo         |       | LC | RP | B,C,P,I | P,E |     | P,E | P |       |         |
| <i>Megarynchus pitangua</i>       | Luis pico grueso         |       | LC | RP | C,P,I   | P,E | P,E | G   | E |       |         |
| <i>Myiozetetes similis</i>        | Luis gregario            |       | LC | RP | B,C,P,E | P,L | P,F | P,U | E |       |         |
| <i>Mystadynastes luteiventris</i> | Papamoscas atigrado      |       | LC | RV | C,P,E   | P,E | E   | I   |   |       |         |
| <i>Tyrannus melancholicus</i>     | Tirano tropical          |       | LC | RP | C,P,E   | P   | E   |     |   | E     |         |
| <i>Tyrannus vociferans</i>        | Tirano gritón            | SE    | LC | RM | B       |     |     |     | E | P     | E       |
| <i>Tyrannus crassirostris</i>     | Tirano pico grueso       | SE    | LC | RP | C,P,E   | P,E | P,E | P,E | E | P,E   | E       |
| <i>Tyrannus verticalis</i>        | Tirano pálido            |       | LC | TR | C       |     |     |     |   |       |         |

**Apéndice A (continuación)**

|                               |                            |    |    |    |    |         |     |     |     |     |     |     |   |
|-------------------------------|----------------------------|----|----|----|----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| <b>Urtyridae</b>              |                            |    |    |    |    |         |     |     |     |     |     |     |   |
| <i>Tityus semifasciata</i>    | Titira enmascarada         |    |    | LC | RP | B,C,P,E | P,E | P,E | P,E | E   | E   |     |   |
| <i>Pachyrhamphus major</i>    | Mosquero-cabezón mexicano  | Pr |    | LC | RP | B       | E   | E   |     |     |     |     |   |
| <i>Pachyrhamphus aglaiae</i>  | Mosquero-cabezón degollado |    |    | LC | RP | B,C,P,E | P,E | E   | P,E | E   |     |     |   |
| <b>Laniidae</b>               |                            |    |    |    |    |         |     |     |     |     |     |     |   |
| <i>Lania ludovicianae</i>     | Alcaudón verdugo           |    |    | LC | RP |         |     |     |     |     | P   |     |   |
| <b>Vireonidae</b>             |                            |    |    |    |    |         |     |     |     |     |     |     |   |
| <i>Vireo bellii</i>           | Vireo de Bell              |    |    | NT | VI | C       |     | C   |     |     | P   |     |   |
| <i>Vireo atricapilla</i>      | Vireo goma negra           | SE | Pe | VU | VI | B,C,E   | E   | P,E | E   |     |     |     |   |
| <i>Vireo nelsoni</i>          | Vireo enano                | EN | Pr | LC | AC |         |     |     |     |     | E   |     |   |
| <i>Vireo plumbeus</i>         | Vireo plumizo              |    |    | LC | RM | C,E     |     |     | E   | C,E | E   | E   | E |
| <i>Vireo cassinii</i>         | Vireo de Cassin            | SE |    | LC | VI | P,E     |     | P,E | E   |     | E   | P,E |   |
| <i>Vireo huttoni</i>          | Vireo reyazuelo            |    |    | LC | RP |         |     |     |     |     | B,P | P,E |   |
| <i>Vireo hypochryseus</i>     | Vireo dorado               | EN |    | LC | RP | C,P,E   | P,E | P,E | P,E | E   |     |     |   |
| <i>Vireo gilvus</i>           | Vireo garzeador            |    |    | LC | RM | C,P,E   | P,E | P,E | P,E | C,E | P,E | P,E |   |
| <i>Vireo flavoviridis</i>     | Vireo verdemarillo         |    |    | LC | RV | C,P,E   | P,E |     | E   |     |     |     |   |
| <b>Corsidae</b>               |                            |    |    |    |    |         |     |     |     |     |     |     |   |
| <i>Colocitta colliei</i>      | Urraca-hermosa cara negra  | EN |    | LC | RP | B,P,E   | P,E | P,E |     |     |     |     |   |
| <i>Cyanocorax dicycli</i>     | Chara pinta                | EN | Pe | NT | RP |         |     |     |     |     |     | E   |   |
| <i>Cyanocorax yncas</i>       | Chara verde                |    |    | LC | RP | B,C     | P,E | P,E | P,E | E   | E   |     |   |
| <i>Cyanocorax sanblasanae</i> | Chara de San Blas          | EN |    | LC | RP | B,C,P,E | P,E |     | C   |     |     |     |   |
| <i>Cyanocitta stelleri</i>    | Chara crestada             |    |    | LC | RP |         |     |     |     |     |     | E   | E |
| <i>Aphelocoma waltheberi</i>  | Chara pecho gris           |    |    | LC | RP |         |     |     |     |     |     | E   | E |
| <i>Corsus sinatoae</i>        | Cuervo sinatoense          | EN |    | LC | RP | B,P     | P   |     |     |     |     |     |   |
| <i>Corsus corax</i>           | Cuervo común               |    |    | LC | RP | P,E     | P,E | P   |     | E   | E   | E   | E |
| <b>Hummingidae</b>            |                            |    |    |    |    |         |     |     |     |     |     |     |   |
| <i>Progne sinatoae</i>        | Golondrina sinatoense      | SE | Pr | VU | RV |         |     |     |     |     | C   |     |   |
| <i>Progne chalybeus</i>       | Golondrina acerada         |    |    | LC | RP | C       |     |     |     |     |     |     |   |
| <i>Tachycineta albilinea</i>  | Golondrina manglera        |    |    | LC | RP | B       |     |     |     |     |     |     |   |

**Apéndice A (continuación)**

|                                   |                         |    |    |    |         |     |     |       |     |     |       |     |     |     |
|-----------------------------------|-------------------------|----|----|----|---------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-----|
| <i>Stelgidopteryx serripennis</i> | Golondrina ala aserrada |    | LC | RP | C,P,E   |     |     |       |     | E   |       |     |     |     |
| <i>Hirundo rustica</i>            | Golondrina tijereta     |    | LC | RP | B       |     |     |       |     |     |       |     |     |     |
| <b>Falconidae</b>                 |                         |    |    |    |         |     |     |       |     |     |       |     |     |     |
| <i>Baeolophus inornatus</i>       | Carbonero embridado     |    | LC | RP |         |     |     |       |     | C,E | B,E   | E   | E   | E   |
| <b>Agelaiidae</b>                 |                         |    |    |    |         |     |     |       |     |     |       |     |     |     |
| <i>Psaltriparus minimus</i>       | Sastrecillo             |    | LC | RP |         |     |     |       |     | E   | B     | E   | E   | E   |
| <b>Sittidae</b>                   |                         |    |    |    |         |     |     |       |     |     |       |     |     |     |
| <i>Sitta carolinensis</i>         | Sita pecho blanco       |    | LC | RP |         |     |     |       |     | B   | B,E   | E   | E   | E   |
| <i>Sitta pygmaea</i>              | Sita enana              |    | LC | RP |         |     |     |       |     |     |       |     |     | E   |
| <b>Certhiidae</b>                 |                         |    |    |    |         |     |     |       |     |     |       |     |     |     |
| <i>Certhia americana</i>          | Trepador americano      |    | LC | RP |         |     |     |       |     |     |       |     |     | E E |
| <b>Troglodytidae</b>              |                         |    |    |    |         |     |     |       |     |     |       |     |     |     |
| <i>Salpinctes obsoletus</i>       | Chivirín saltaroca      |    | LC | RP |         |     |     |       |     | C   |       |     | C,P | E   |
| <i>Catherpes mexicanus</i>        | Chivirín bamanqueño     |    | LC | RP |         |     |     |       |     | C,E | P     | P   |     |     |
| <i>Troglodytes aedon</i>          | Chivirín saltapared     |    | LC | RM |         |     |     |       |     | P,E | P,R   | E   | E   | E   |
| <i>Campylorhynchus gularis</i>    | Matraca serrana         | EN | LC | RP |         |     |     |       |     | E   | E     | E   | E   | E   |
| <i>Phlegonopus felix</i>          | Chivirín feliz          | EN | LC | RP | B,C,P,E | P,E | P,E | P,E   |     | E   | E     | E   |     |     |
| <i>Thryophilus sinclairi</i>      | Chivirín sinaloense     | EN | LC | RP | C,P,E   | P,E | P,E | C,P,E |     |     | P     | E   |     |     |
| <b>Poliophtidae</b>               |                         |    |    |    |         |     |     |       |     |     |       |     |     |     |
| <i>Poliophtila caerulea</i>       | Perlita azul gris       |    | LC | VI | B,C,P,E | P,E | P,E | P,E   | P,E | P,E | B,P,E | P,E |     |     |
| <i>Poliophtila nigriceps</i>      | Perlita sinaloense      | EN | LC | RP |         |     |     |       |     | P   |       |     |     |     |
| <b>Regulidae</b>                  |                         |    |    |    |         |     |     |       |     |     |       |     |     |     |
| <i>Regulus calendula</i>          | Reyezuelo de rojo       |    | LC | VI |         |     |     |       |     | C   | B,E   | E   | E   | E   |
| <b>Turdidae</b>                   |                         |    |    |    |         |     |     |       |     |     |       |     |     |     |
| <i>Sialia sialis</i>              | Azulejo garganta canela |    | LC | RP |         |     |     |       |     | E   | P,E   | P,E | E   | E   |
| <i>Myadestes occidentalis</i>     | Clarín jilguero         | Pr | LC | RP |         | E   | P,E | P,E   |     | E   | E     | P,E | E   | E   |
| <i>Catharus aurantinostris</i>    | Zorzal pico anaranjado  |    | LC | RM | C       |     |     |       |     | P   |       | E   |     |     |
| <i>Catharus occidentalis</i>      | Zorzal mexicano         | EN | LC | RP |         |     |     |       |     | E   | E     |     |     |     |
| <i>Catharus ustulatus</i>         | Zorzal de Swainson      |    | LC | VI | B,C,P,E | P   | P   |       |     |     |       |     |     | E   |

**Apéndice A (continuación)**

|                                 |                         |    |    |    |         |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------|-------------------------|----|----|----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <i>Catharus guttatus</i>        | Zorzal cola rufa        |    | LC | VI | P       |     | E   |     |     |     | P,E | E   |
| <i>Turdus assimilis</i>         | Mirlo garganta blanca   |    | LC | RP | B,C,E   | P,E | P,E | E   | E   |     | P,E |     |
| <i>Turdus rufopallatus</i>      | Mirlo dorso rufo        | CE | LC | RP | B,C,P,E | P,E | E   | E   | P,E |     |     |     |
| <i>Turdus migratorius</i>       | Mirlo primavera         |    | LC | RP |         |     |     |     |     |     | C,E | E E |
| <i>Ridgwayia pinicola</i>       | Mirlo pinto             | EN | Pr | LC | RP      |     |     |     |     |     |     | E   |
| <b>Mniotiltidae</b>             |                         |    |    |    |         |     |     |     |     |     |     |     |
| <i>Melanotis caerulescens</i>   | Malato azul             | EN | LC | RP | C,P     | P,E | P,E | P,E | E   | E   | E   | E   |
| <i>Toxostoma curvirostre</i>    | Cuillacoche pico curvo  |    | LC | RP |         |     |     |     |     |     | E   |     |
| <i>Mimus polyglottus</i>        | Centzontle norteño      |    | LC | RM | B,C     | P   |     |     |     |     |     |     |
| <b>Psittigonidae</b>            |                         |    |    |    |         |     |     |     |     |     |     |     |
| <i>Psittogonyx cinereus</i>     | Capulínero gris         | CE | LC | RP |         |     | E   | E   | C,E | P,E | E   | E E |
| <b>Psittacanthidae</b>          |                         |    |    |    |         |     |     |     |     |     |     |     |
| <i>Psittacanthus tumidus</i>    | Ocotero enmascarado     |    | LC | RP |         |     |     |     |     |     | E   | E E |
| <b>Paridae</b>                  |                         |    |    |    |         |     |     |     |     |     |     |     |
| <i>Seiurus auricapilla</i>      | Chipe suelero           |    | LC | VI | C       |     | P   |     |     |     |     |     |
| <i>Mniotilta varia</i>          | Chipe trepador          |    | LC | VI | C,P,E   | P,E | P,E | P,E | E   | B,E | P,E | E   |
| <i>Oreothlypis superciliosa</i> | Parula ceja blanca      |    | LC | RP |         |     |     |     |     |     | E   | E E |
| <i>Oreothlypis celata</i>       | Chipe corona amarillada |    | LC | VI | P       |     | P   | E   | E   | B   | E   | E   |
| <i>Oreothlypis luciae</i>       | Chipe rabaldilla rufa   | SE | LC | VI | C,E     |     |     |     |     |     |     |     |
| <i>Oreothlypis ruficapilla</i>  | Chipe de coronilla      |    | LC | VI | C,P,E   | P,E | P,E | P,E | E   | F   | P,E |     |
| <i>Oreothlypis virginiana</i>   | Chipe de Virginia       | SE | LC | VI |         |     |     |     |     | C   | E   |     |
| <i>Geothlypis poliocephala</i>  | Mascarita pico grueso   |    | LC | RP | C,E     |     |     |     |     |     |     |     |
| <i>Geothlypis tolmiei</i>       | Chipe de Tolmie         |    | Am | LC | VI      | C,P | P   | P,L | P,E | E   | P,E | E   |
| <i>Geothlypis trichas</i>       | Mascarita común         |    | LC | RP | C       |     |     |     |     |     |     |     |
| <i>Setophaga citrina</i>        | Chipe encapuchado       |    | LC | AC | B,E     |     |     |     |     |     |     |     |
| <i>Setophaga ruticilla</i>      | Chipe flambeado         |    | LC | VI | C,P     |     | P   |     |     |     |     |     |
| <i>Setophaga ruticilla</i>      | Parula tropical         |    | LC | RP | C,P,E   | P,E | P   | E   |     |     |     |     |
| <i>Setophaga ruticilla</i>      | Chipe amarillo          |    | LC | RM | C,P     |     |     |     |     |     |     |     |
| <i>Setophaga ruticilla</i>      | Chipe flanco castaño    |    | LC | AC | B,C     | B   |     | C   |     |     |     |     |

**Apéndice A (continuación)**

|                                 |                        |    |    |    |       |     |     |     |     |       |       |     |   |   |
|---------------------------------|------------------------|----|----|----|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-----|---|---|
| <i>Setophaga coronata</i>       | Chipe coronado         |    | LC | VI |       |     |     | P,E |     | C,P,E | B,P,E | E   | E | E |
| <i>Setophaga graciae</i>        | Chipe ceja amarilla    |    | LC | RP |       |     |     |     |     | E     | P     | E   | E | E |
| <i>Setophaga nigrescens</i>     | Chipe negro gris       | SE | LC | VI | C,P,E | P,E | P,E | P,E | P,E | P,E   | B,P,E | P,E | E | E |
| <i>Setophaga townsendi</i>      | Chipe negro amarillo   |    | LC | VI |       | P   | P,E | P,E | E   |       | B,E   | P,E | E | E |
| <i>Setophaga occidentalis</i>   | Chipe cabeza amarilla  |    | LC | VI |       |     |     |     | E   | C     | E     | E   | E | E |
| <i>Setophaga virens</i>         | Chipe dorso verde      |    | LC | VI |       |     |     |     |     | P     |       |     |   |   |
| <i>Basileuterus lachrymosus</i> | Chipe roquero          |    | LC | RP | C     | P   | P,E | E   |     |       |       |     |   |   |
| <i>Basileuterus rufifrons</i>   | Chipe gorra rufa       | CE | LC | RP |       | P   | E   |     |     | P,E   | B,P,E | E   |   |   |
| <i>Basileuterus culicivorus</i> | Chipe corona dorada    |    | LC | RP | P     | P   | P   | E   |     |       |       |     |   |   |
| <i>Cardellina pusilla</i>       | Chipe corona negra     |    | LC | VI | C,P,E | P,E | P,E | P,E | P,E | P,E   | P,E   | P,E | E | E |
| <i>Cardellina rubrifrons</i>    | Chipe cara roja        | SE | LC | VI |       |     |     |     |     |       | E     |     | E | E |
| <i>Cardellina rubra</i>         | Chipe rojo             | EN | LC | RP |       |     |     |     |     |       |       |     |   | E |
| <i>Myioborus pictus</i>         | Chipe ala blanca       |    | LC | RP | B,E   |     | P,E | P,E | E   |       | B,E   | E   | E | E |
| <i>Myioborus miniatus</i>       | Chipe de montaña       |    | LC | RP |       | E   |     |     |     |       | B     |     |   |   |
| <i>Icteria virens</i>           | Bascabrela             |    | LC | RM | P     | P   | E   |     |     |       |       |     |   |   |
| <b>Thryophilidae</b>            |                        |    |    |    |       |     |     |     |     |       |       |     |   |   |
| <i>Psaltria jacarina</i>        | Semillero brincador    |    | LC | RP | P,E   | P   |     |     |     |       |       |     |   |   |
| <i>Sporophila torqueola</i>     | Semillero de collar    |    | LC | RP | C,P,E | P   | E   |     |     |       |       |     | E |   |
| <i>Saltator coerulescens</i>    | Picureto grisáceo      |    | LC | RP | C,P,E | P,E | P,E | E   | E   |       |       |     | E |   |
| <b>Incertae sedis</b>           |                        |    |    |    |       |     |     |     |     |       |       |     |   |   |
| <i>Rhodinocichla risora</i>     | Tangara cutilacoche    |    | LC | RP | B,C   | P,E |     | C,E |     |       |       |     |   |   |
| <b>Emberizidae</b>              |                        |    |    |    |       |     |     |     |     |       |       |     |   |   |
| <i>Arremonops rufivirgatus</i>  | Rascador oliváceo      | CE | LC | RP | C     |     |     |     |     |       |       |     |   |   |
| <i>Pipilo chlorurus</i>         | Toquí cola verde       |    | LC | VI | C     |     |     |     |     |       |       |     |   |   |
| <i>Pipilo maculatus</i>         | Toquí pinto            |    | LC | RP |       |     |     |     |     |       |       |     | B | E |
| <i>Aimophila rufescens</i>      | Zacatonero rojizo      |    | LC | RP |       |     |     |     |     |       | C,F   |     |   |   |
| <i>Aimophila ruficeps</i>       | Zacatonero corona rufa |    | LC | RP |       |     |     |     |     |       | E     |     |   |   |
| <i>Melospiza kineri</i>         | Rascador ouca rufa     | EN | LC | RP | C,P   | P,E | P,E | C,E | E   |       |       |     | C |   |
| <i>Melospiza fusca</i>          | Toquí pardo            |    | LC | RP |       |     |     |     |     |       |       |     |   | E |

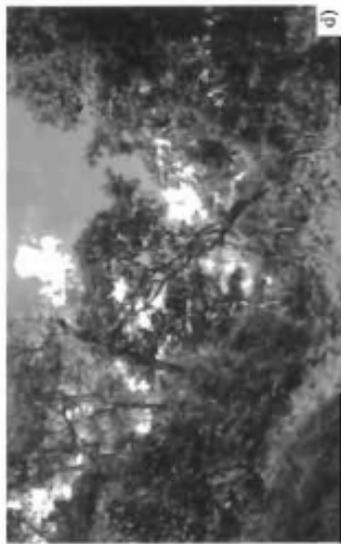
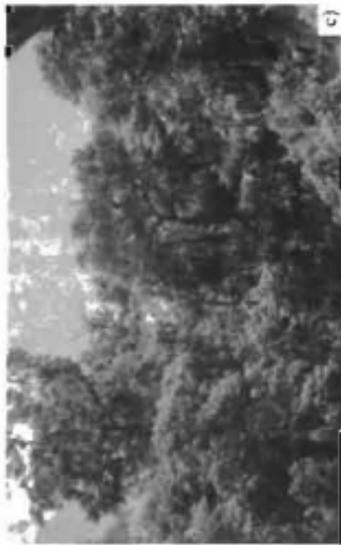
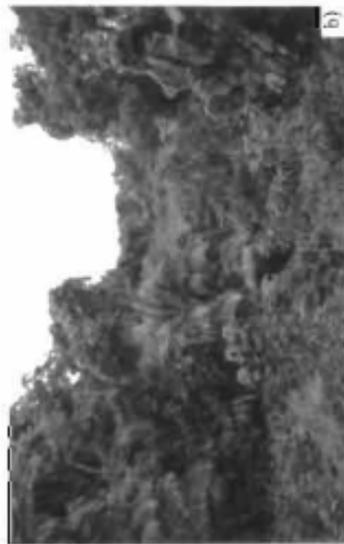
**Apéndice A (continuación)**

|                                  |                                |    |    |    |       |     |     |     |   |               |
|----------------------------------|--------------------------------|----|----|----|-------|-----|-----|-----|---|---------------|
| <i>Peucaea ruficauda</i>         | Zacatonero corona rayada       |    | LC | RP | B,C,P | P   | E   |     | E | P             |
| <i>Peucaea botteri</i>           | Zacatonero de Boneri           |    | LC | RP |       |     |     | C   |   |               |
| <i>Spizella passerina</i>        | Gorrion ceja blanca            |    | LC | RM |       |     |     |     | E | P,E           |
| <i>Spizella pallida</i>          | Gorrion pálido                 | SE | LC | VI | B,C   |     |     |     |   | E E           |
| <i>Chondestes grammacus</i>      | Gorrion arlequin               |    | LC | VI | B,C,P |     |     |     | P | P             |
| <i>Amphispiza quinquestrata</i>  | zacatonero cinco rayas         | SE | LC | RM | P     |     |     | C   |   |               |
| <i>Passerculus sandwichensis</i> | Gorrion sabanero               |    | LC | VI | C     | P   |     |     |   |               |
| <i>Ammodramus savannarum</i>     | Gorrion chapulin               |    | LC | VI | C     |     |     |     |   |               |
| <i>Melospiza melodia</i>         | Gorrion cantor                 |    | LC | AC | B     |     |     |     |   |               |
| <i>Melospiza lincolni</i>        | Gorrion de Lincoln             |    | LC | VI | B,C   |     |     |     |   | P             |
| <i>Zonotrichia leucophrys</i>    | Gorrion corona blanca          |    | LC | VI | B,C   |     |     |     |   |               |
| <i>Junco phaeonotus</i>          | Junco ojo de lumbre            | CE | LC | RP |       |     |     |     |   | E E           |
| <b>Cardinalidae</b>              |                                |    |    |    |       |     |     |     |   |               |
| <i>Piranga flava</i>             | Tingara encinera               |    | LC | RP |       |     |     |     | E | B,P,E P,E E E |
| <i>Piranga rubra</i>             | Tingara roja                   |    | LC | VI | C,P,E | P   | P,E | P,E |   | P             |
| <i>Piranga ludoviciana</i>       | Tingara capucha roja           |    | LC | VI | C     | E   | P,L |     |   |               |
| <i>Piranga bidentata</i>         | Tingara dorso rayado           |    | LC | RP |       |     | P,E | E   | E | E             |
| <i>Piranga erythrocephala</i>    | Tingara cabeza roja            | EN | LC | RP |       |     |     |     |   | E E E         |
| <i>Habia rubica</i>              | Tingara-hormiguera corona roja |    | LC | RP | B,C,P | P,E | P,E | P,E | E |               |
| <i>Cardinalis sinuatus</i>       | Cardenal pardo                 |    | LC | RP | B     |     |     |     |   |               |
| <i>Pheucticus chrysopetius</i>   | Picogordo amarillo             | CE | LC | RP | C,P   | P,E | E   | E   | E |               |
| <i>Pheucticus ludovicianus</i>   | Picogordo pecho rosa           |    | LC | VI |       |     | E   |     |   |               |
| <i>Pheucticus melanocephalus</i> | Picogordo tigrillo             | SE | LC | RM |       | E   | E   | E   | E | P,E E E E     |
| <i>Granatellus venustus</i>      | Granatello mexicano            | EN | LC | RP | P     | E   | P   |     |   |               |
| <i>Cyanocitta stelleri</i>       | Coloita azul negro             |    | LC | RP | C,P,E | P,E | P,E |     |   |               |
| <i>Passerina caerulea</i>        | Picogordo azul                 |    | LC | RM | C,P   | P   | P   |     | E | P,E           |
| <i>Passerina amoena</i>          | Coloita larali                 | SE | LC | VI | E     |     |     |     |   |               |
| <i>Passerina cyanea</i>          | Coloita azul                   |    | LC | VI |       | P   | E   |     |   |               |
| <i>Passerina leclancherii</i>    | Coloita pecho naranja          | EN | LC | RP | P,E   |     |     |     |   |               |

**Apéndice A (continuación)**

|                                |                        |    |    |    |         |     |     |     |   |     |       |
|--------------------------------|------------------------|----|----|----|---------|-----|-----|-----|---|-----|-------|
| <i>Passerina versicolor</i>    | Colorín morado         | SE | LC | RM | C,P,E   | P   | E   | C,E | E | P,E | E     |
| <i>Passerina ciris</i>         | Colorín siete colores  | Pr | NT | VI | C,P     | P   | E   |     |   | P   |       |
| <i>Spiza americana</i>         | Arrocero americano     |    | LC | VI | C,P     |     |     |     |   |     |       |
| <b>Icteridae</b>               |                        |    |    |    |         |     |     |     |   |     |       |
| <i>Euphagus cyanocephalus</i>  | Tordo ojo amarillo     |    | LC | VI | B       |     |     |     |   |     |       |
| <i>Quiscalus mexicanus</i>     | Zanate mexicano        |    | LC | RP | B,C,P   |     |     |     |   |     |       |
| <i>Molothrus aeneus</i>        | Tordo ojo rojo         |    | LC | RP | B,P     | P   | E   | E   | E |     |       |
| <i>Icterus wagleri</i>         | Bolsero de Wagler      |    | LC | RP |         |     |     |     |   | E   | C,E E |
| <i>Icterus spurius</i>         | Bolsero castaño        |    | LC | VI |         | E   |     |     |   |     |       |
| <i>Icterus cucullatus</i>      | Bolsero encapuchado    | SE | LC | VI | B,C     | P,E | P   |     |   |     |       |
| <i>Icterus pusillatus</i>      | Bolsero dorso rayado   |    | LC | RP | B,C,P,E | P,E | P,E | P,E | E |     | E     |
| <i>Icterus bullockii</i>       | Bolsero calandria      | SE | LC | VI |         | P,E | P,E | P,E | E | P,E | E E   |
| <i>Icterus graduacauda</i>     | Bolsero cabeza negra   | CE | LC | RP |         |     |     |     |   | E   |       |
| <i>Icterus galbula</i>         | Bolsero de Baltimore   |    | LC | VI |         | E   | E   |     |   |     | E     |
| <i>Icterus parisorum</i>       | Bolsero tunero         | SE | LC | RP |         |     |     |     |   |     | E E E |
| <i>Cassicalus melanicterus</i> | Cacique mexicano       | CE | LC | RP | B,C,P,E | P,E | P,E | P,E |   |     |       |
| <b>Troglodytidae</b>           |                        |    |    |    |         |     |     |     |   |     |       |
| <i>Euphonia affinis</i>        | Eufonia garganta negra |    | LC | RP | B,C,P,E | P,E | P,E | E   | E | E   |       |
| <i>Euphonia elegantissima</i>  | Eufonia capucha azul   |    | LC | RP |         |     | E   | E   | C | E   | E E E |
| <i>Haemorhous mexicanus</i>    | Pezón mexicano         |    | LC | RP |         |     |     |     |   | P,E | P,E   |
| <i>Haemorhous cassinii</i>     | Pinzón de Cassin       |    | NT | VI |         |     |     |     |   |     | E E   |
| <i>Loxia curvirostra</i>       | Piconuerto rojo        |    | LC | RP |         |     |     |     |   | E   | E E   |
| <i>Spinus notatus</i>          | Jilguero encapuchado   |    | LC | RP |         |     |     |     |   | P,E | E     |
| <i>Spinus psaltria</i>         | Jilguero dominico      |    | LC | RP | B       | E   | E   |     |   | E   | C,E E |

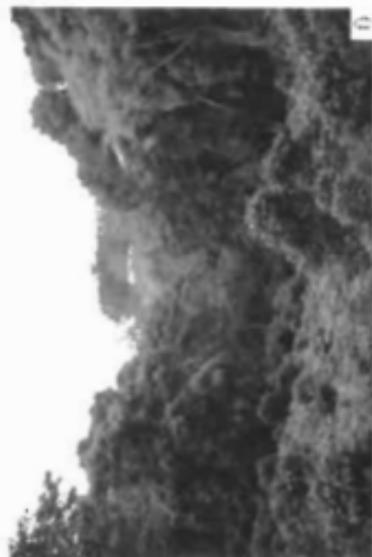
**Apéndice B.** Tipos de vegetación muestreados durante este estudio: a y b) selva mediana subcaducifolia, c y d) selva mediana subperennifolia, e y f) bosque mesófilo de montaña, g y h) bosque de encino, i y j) bosque de pino-encino.



Apêndice B (continuação)



17



18



19



20

**Apéndice B (continuación)**



D



D