



## Patrones espaciales de distribución y diversidad de la avifauna en la provincia del Balsas

### Spatial patterns of distribution and diversity of birds in the Balsas province

Marisol Castro-Torreblanca<sup>1✉</sup>, Epifanio Blancas-Calva<sup>2</sup>, Geovanni M. Rodríguez-Mirón<sup>3</sup> y David N. Espinosa-Organista<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Unidad Académica de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Guerrero. Av. Lázaro Cárdenas s/n, Ciudad Universitaria, 39070 Chilpancingo, Guerrero, México.

<sup>2</sup>Instituto de Investigación Científica, Universidad Autónoma de Guerrero. Av. Lázaro Cárdenas s/n, Ciudad Universitaria, 39070 Chilpancingo, Guerrero, México.

<sup>3</sup>Laboratorio de Biología Comparada, Unidad Multidisciplinaria de Investigación Experimental Zaragoza, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Guelatao 66, Col. Ejército de Oriente, 09230 México, D. F., México.

✉ [balam\\_mampar@hotmail.com](mailto:balam_mampar@hotmail.com)

**Resumen.** La provincia del Balsas ha sido delimitada como una unidad natural, con base en sus taxones endémicos y variables ambientales. Es reconocida como un centro de diversificación, endemismo y transición biogeográfica. Sin embargo, existen elementos que permiten distinguir 2 componentes bióticos diferentes al interior de la misma. En este estudio, analizamos los patrones de distribución de la riqueza y diversidad  $\beta$ , de la avifauna residente y total de la provincia del Balsas. Utilizamos 2 coeficientes de disimilitud ( $1-J_{\text{clásico}}$  y  $1-J_{\text{mod}}$ ). Se presentan 3 zonas con alta riqueza de especies: 1) noreste; 2) oeste y 3) en el centro de la provincia del Balsas. El patrón de diversidad  $\beta$  sugiere la existencia de 2 componentes avifaunísticos, correspondientes a la sección oriental y occidental de la provincia del Balsas. Esto concuerda con estudios de las tendencias de distribución de otros taxones al interior de esta unidad biogeográfica, por lo que se propone la división de la misma en 2 distritos faunísticos: oriental y occidental.

Palabras clave: aves, riqueza, reemplazo de especies, provincia biogeográfica.

**Abstract.** The Balsas' province of southern Mexico has been defined as a natural unite based on its endemic taxa and environmental variables. It is recognized as a center of diversification, endemism and biogeographic transition. However, there are elements that allow us to distinguish 2 different biotic components within the province. We analyzed the distribution patterns of richness and beta diversity of birds, both total (migratory + resident) and resident. We used 2 coefficients of dissimilarity ( $1-J_{\text{clásico}}$  and  $1-J_{\text{mod}}$ ) to analyze beta diversity within the province. There are 3 areas with high species richness: 1) Northeastern; 2) Western and 3) in the center of the province of the Balsas. The beta diversity pattern suggests the existence of 2 components in the bird community that correspond to Eastern and Western sectors of the Balsas province. This is consistent with studies concerning the tendencies of the distribution of other taxa within the Balsas province. Therefore, we propose the division of the province into 2 faunal districts: Eastern and Western.

Key words: birds, richness, species replacement, biogeographic province.

### Introducción

La diversidad biológica de México se expresa geográficamente como un mosaico complejo de distribución de especies y ecosistemas. Estas tendencias de distribución espacial de la riqueza de especies y endemismos corresponde con su heterogeneidad fisiográfica, producto de una compleja historia geológica y climática (Espinosa

et al., 2008). La superposición distribucional de los taxones define unidades biogeográficas o componentes bióticos integrados espacio-temporalmente, debido a una historia común (Morrone, 2005). Estos componentes bióticos pueden ser ordenados jerárquicamente en un sistema de regionalización biogeográfica de reinos, regiones, subregiones, dominios, provincias y distritos (Espinosa-Organista et al., 2001). Dentro de las diferentes unidades bióticas con identidad propia en que se divide al país, se reconoce la existencia de una unidad biogeográfica correspondiente a la provincia del Balsas (Rzedowski,

1978; Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990; Escalante et al., 1993; Arriaga et al., 1997; Espinosa-Organista et al., 2000; Morrone, 2004). De acuerdo con diversos autores, la provincia del Balsas es considerada una zona de interés biológico, debido a que presenta características particulares y de gran importancia histórico-biogeográfica por su alto nivel de endemismo (Rzedowski, 1978; Escalante et al., 1993), particularmente de su flora e ictiofauna (e. g., Rzedowski et al., 2005; Rodríguez-Jiménez et al., 2005; Miller, 2005; Espinosa et al., 2006; Sousa, 2010). En cuanto al componente avifaunístico, de acuerdo con Birdlife International (2013), hay 10 especies características para considerar a la región del Balsas e interior de Oaxaca como una EBA (Endemic Bird Areas, por sus siglas en inglés).

Para la provincia del Balsas existen diversos estudios realizados con diferentes escalas, enfoques y métodos (Rosas-Valdés y Pérez-Ponce de León, 2008), sobre las tendencias de distribución espacial de distintos taxones, como plantas vasculares (Rodríguez-Jiménez et al., 2005), especies del género *Bursera* (Rzedowski et al., 2005; Espinosa et al., 2006; Espinosa et al., 2008), leguminosas (Sousa, 2010), peces (Miller, 2005), mamíferos (Ceballos et al., 2005; Munguía, 2006) y aves (Escalante et al., 1993; Feria-Arroyo, 2001; Feria-Arroyo y Peterson, 2002; García-Trejo y Navarro-Sigüenza, 2004; Ríos-Muñoz, 2006; Ramírez-Albores, 2007; Ríos-Muñoz y Navarro-Sigüenza, 2013). La inferencia común de todos estos estudios subyace en el conocimiento de las áreas de distribución de las especies y de su disposición espacial. Un aspecto sobresaliente en estos análisis es que, al interior de la provincia del Balsas existen conjuntos de especies que comparten las mismas áreas geográficas. Esto sugiere la existencia de 2 componentes bióticos diferentes, uno que corresponde con la sección oriental y el otro con la sección occidental de la provincia del Balsas (Rzedowski et al., 2005; Espinosa et al., 2006; Sousa, 2010). El reconocimiento de los patrones de distribución de la riqueza y endemismos, así como las áreas de reemplazo de las especies de aves asociadas a la provincia del Balsas, contribuyen a robustecer los criterios que le han dado identidad ecológica y biogeográfica a esta provincia.

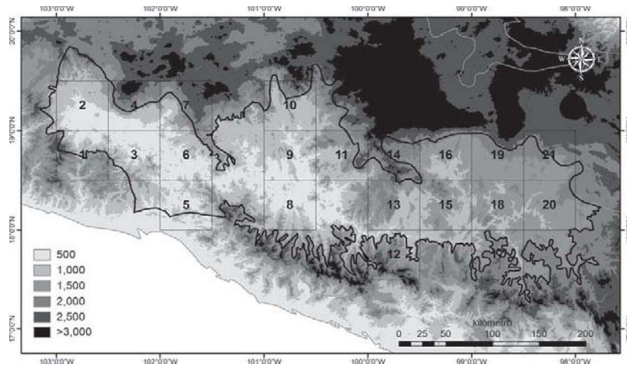
En este estudio se analizan los patrones de distribución de la riqueza de aves y la diversidad beta ( $\beta$ ) o reemplazo de especies, medida como la disimilitud entre las unidades geográficas operativas (OGU, por sus siglas en inglés) dentro de la provincia del Balsas, con base en registros de distribución puntual de las especies de aves. El análisis de los patrones de reemplazo de especies se realizó mediante el método de similitud total, utilizando 2 coeficientes de disimilitud, uno basado en incidencias ( $1-J_{\text{clásico}}$ ) y otro en abundancias o frecuencias ( $1-J_{\text{mod}}$ ). Con el auxilio de un sistema de información geográfica (SIG), se identificaron

y caracterizaron las tendencias de distribución de la riqueza y el reemplazo de especies de aves al interior de la provincia del Balsas. Con base en el reconocimiento de los componentes avifaunísticos en la provincia del Balsas, y del análisis de los trabajos previos, se propone la división biogeográfica de la misma en 2 distritos faunísticos. La clasificación y la determinación precisa de la identidad biogeográfica de las áreas con base en la distribución de su biota, constituyen el conocimiento que se convierte en una herramienta básica para la construcción de políticas de desarrollo sustentable por los responsables de tomar decisiones.

### Materiales y métodos

El área de estudio fue delimitada utilizando el mapa de consenso para las provincias biogeográficas de México, de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio, 1997), obtenido de la página web (<http://www.conabio.gob.mx>). La provincia del Balsas se ubica en el centro de México (Morrone, 2005), entre las coordenadas 17°15' N y 19°50' N, 97°46' O y 103°09' O. Abarca un área extensa confinada por 2 grandes elevaciones, al norte por la Faja Volcánica Transmexicana y al sur por la Sierra Madre del Sur (Espinosa et al., 2000; Espinosa et al., 2008). Los climas predominantes son semiáridos y subhúmedos en 2/3 partes de su área y, en consecuencia, la vegetación más ampliamente distribuida es la selva baja caducifolia y su ecotono con los bosques de coníferas y encinos (Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990; Espinosa et al., 2008). Comprende parte del territorio de los estados de Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Estado de México, Oaxaca y Puebla. La cota altitudinal establecida para la provincia del Balsas es por debajo de 2 000 m (Morrone, 2005) (Fig. 1).

Los registros de las especies de aves para la provincia del Balsas, se obtuvieron de las bases de datos del Atlas de las Aves de México (Navarro-Sigüenza et al., 2003), y de la base de las Aves de Guerrero del Instituto de Investigación Científica, Área de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Guerrero, así como de trabajo propio realizado en campo. La taxonomía para el nivel específico y supraespecífico se basó en la propuesta de la American Ornithologists' Union (AOU, 1998), y suplementos adicionales (<http://www.aou.org>). Para clasificar a las especies con relación a la estacionalidad, se utilizaron 2 categorías de acuerdo con Navarro-Sigüenza y Benítez (1993): residentes, especies que se encuentran presentes todo el año; y no residentes, las que se encuentran sólo durante cierta época del año, ya sea como residentes de invierno o visitantes de verano. En esta categoría se incluyeron las especies transitorias, aquellas que cruzan la



**Figura 1.** Polígono que comprende la provincia del Balsas con las 21 OGU analizadas. El número interior indica el identificador de la unidad. Tomado del mapa de las provincias biogeográficas de México, Conabio (1997) y de Inegi (1990).

provincia del Balsas por un lapso breve, cuando se dirigen hacia su residencia invernal o de reproducción. El análisis de los patrones de distribución y diversidad en la provincia del Balsas se realizó con la avifauna total (aves residentes + migratorias) y residente.

**Definición de Unidades Geográficas.** Las unidades geográficas operativas (Crovell, 1981), son celdas de  $0.5^\circ$  de latitud por  $0.5^\circ$  de longitud superpuestas al polígono de la provincia del Balsas. Esta decisión está basada en estudios previos realizados (e. g., Morrone y Escalante, 2002; Gámez et al., 2012) donde una cuadrícula de medio grado resulta apropiada para realizar análisis a nivel de provincia biogeográfica. Inicialmente la provincia del Balsas se dividió en 44 OGU que cubren en su totalidad la superficie del polígono, sin embargo, 13 OGU no contaron con ningún registro de presencia. Posteriormente, para minimizar el sesgo en el análisis de OGU con pocos datos, descartamos el percentil 5 considerando el número de especies, número de registros y proporción de área interceptada por cada OGU. Así, sólo utilizamos 21 OGU con las cuales realizamos el análisis. A cada OGU se le asignó un identificador numérico (Fig. 1).

**Patrones de distribución y diversidad.** El análisis de los patrones de distribución de la riqueza de especies de aves se efectuó con el apoyo del SIG ArcView ver. 3.2 (ESRI, 1999). Se realizó el cruce de la base con los registros de las especies contra las 21 OGU que comprenden el área de estudio. Se obtuvo la distribución geográfica de cada una de las especies y se generó una matriz de doble entrada con datos del número de registros de especies por OGU. Cada una de las especies registrada para la OGU, se codificó con "1" cuando estaba presente y con "0" cuando estaba ausente. Se calculó la diversidad alfa de forma directa para cada OGU como riqueza de especies. Todas

las OGU fueron tratadas igual, independientemente del área de intersección con el polígono que comprende al área de estudio. La riqueza se clasificó en 5 clases de intervalos, de acuerdo con el número de especies, con la finalidad de sintetizar y facilitar su visualización gráfica. La diversidad  $\beta$  se midió entre cada una de las OGU con el valor inverso de los coeficientes de similitud Jaccard clásico ( $1-J_{\text{clásico}}$ ) y Jaccard modificado por Chao ( $1-J_{\text{mod.}}$ ) (Chao et al., 2005), tanto para la avifauna total como para la residente. El coeficiente  $1-J_{\text{clásico}}$  se basa en la relación presencia-ausencia de especies entre las OGU. Mientras que el coeficiente de Jaccard modificado por Chao et al. (2005) incorpora datos de abundancia para considerar la posibilidad de falsas ausencias debidas a las especies no vistas. Este coeficiente modificado considera la posibilidad de que haya especies no muestreadas, no vistas, debido a su rareza local intrínseca y que por ello estén ausentes en algunas de las OGU debido al sesgo en el esfuerzo de muestreo (Chao et al., 2005). Los valores de disimilitud para los coeficientes  $1-J_{\text{clásico}}$  y  $1-J_{\text{mod.}}$  fueron calculados en el programa EstimateS, versión 8.0 (Colwell, 2005). A partir de estos valores, se construyeron los dendrogramas de disimilitud con el programa Stata (StataCorp LP., 2012) mediante el algoritmo de ligamiento promedio ponderado *weighted-average*, para los 2 coeficientes anteriormente mencionados.

## Resultados

La avifauna de la provincia del Balsas representa el 33.7% (379 especies) de las especies registradas para México, de acuerdo con la American Ornithologists' Union (AOU, 1998). Se encontraron 262 especies de aves residentes y 117 especies no residentes agrupadas jerárquicamente en 223 géneros, 58 familias y 20 órdenes. Las familias mejor representadas por el número de especies son Tyrannidae con 37 especies (9.7%), seguida de Parulidae con 33 (8.7%), Emberizidae 27 (7.1%), Trochilidae 23 (6.1%) y Cardinalidae 18 (4.7%). El orden Passeriformes es el mayor representado con 211 especies (55.6%), seguido por Apodiformes con 28 (7.3%), Charadriiformes y Pelecaniformes con 17 (4.4%). Los órdenes y las familias restantes están representados por 16 o menos especies.

**El patrón de riqueza avifaunística.** El patrón de distribución de la riqueza de especies para la avifauna total y para la avifauna residente, es semejante. La OGU 16, la de mayor riqueza, presenta 283 especies, 190 residentes y 93 no residentes. El menor número de especies fue de 51, 29 residentes y 22 no residentes en la OGU 9. El promedio de especies por OGU fue de 115.5 para la avifauna total, y de 81.6 especies para la avifauna residente. Se observan

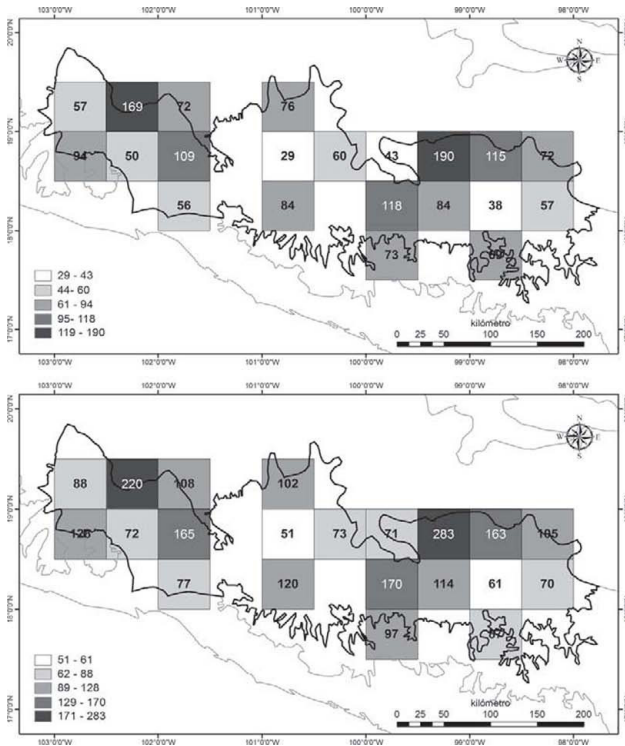
3 zonas con alta riqueza de especies: 1) noreste; 2) oeste y 3) en una sección del centro de la provincia del Balsas (Fig. 2).

*El patrón de diversidad  $\beta$* . Los valores de disimilitud obtenidos con el coeficiente  $1-J_{\text{clásico}}$  mostraron que la diversidad  $\beta$  al interior de la provincia del Balsas es alta. Los valores más bajos de reemplazo se presentan entre las OGU 4 y 16 que contienen la mayor riqueza. Los valores de disimilitud más altos se presentaron entre la OGU 14 y el resto de las OGU. Por el contrario, los valores de reemplazo de especies obtenidos con el coeficiente  $1-J_{\text{mod}}$  fueron bajos, lo que sugiere que la diversidad  $\beta$  dentro de cada sector de la provincia del Balsas es baja ( $\beta < 0.5$ ). Los valores de disimilitud obtenidos para las especies totales y residentes fueron similares y presentan el mismo patrón de diversidad  $\beta$ . Asimismo, los dendrogramas construidos con los valores del coeficiente  $1-J_{\text{clásico}}$  para las especies totales y residentes (Figs. 3a, c), muestran que existe un solo grupo avifaunístico al interior de la provincia del Balsas con un elevado reemplazo de especies entre las OGU. En los dendrogramas construidos con el coeficiente  $1-J_{\text{mod}}$  (Figs. 3b, d), se distinguen 2 grupos avifaunísticos con una disimilitud  $\leq 60\%$ . Los dendrogramas construidos con

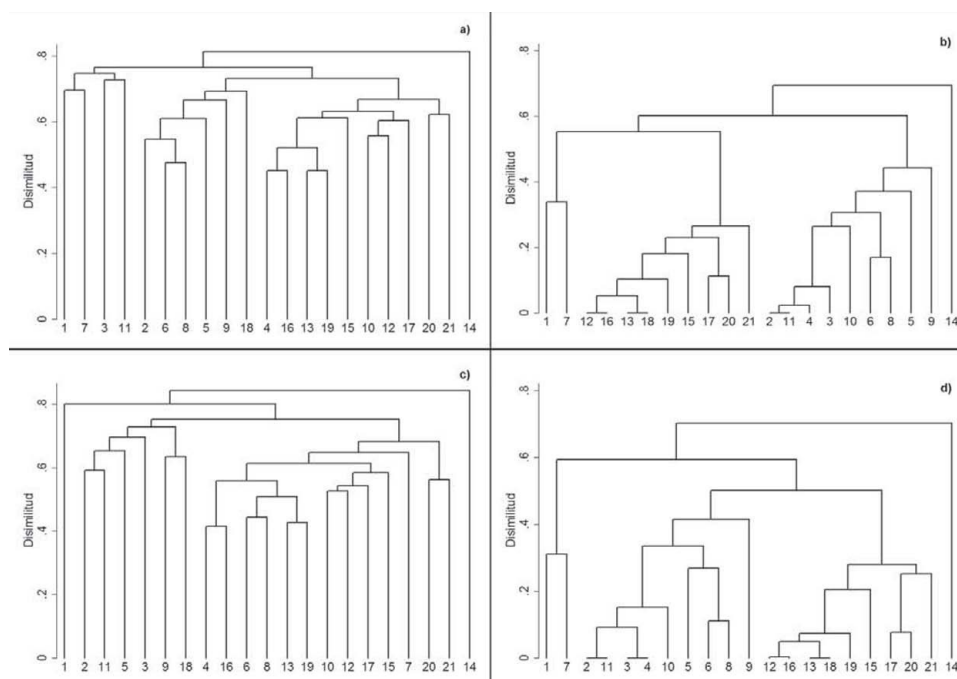
este coeficiente agrupan a las OGU de la sección oriental, OGU 12-21, exceptuando la OGU 14, y a las OGU de la sección occidental de la provincia del Balsas, OGU 2-11, excepto la OGU 7. Para las especies totales, las celdas 1 y 7 conforman un grupo que es afín a las OGU de la sección oriental de la provincia del Balsas. A su vez, en el dendrograma construido para las especies residentes (Fig. 3d), las OGU 1 y 7 están formando un solo grupo. La OGU 14 es la más distante en las agrupaciones, tanto para las especies totales como para las residentes (Fig. 3).

## Discusión

La provincia del Balsas presenta una riqueza de especies alta, ya que en una superficie de aproximadamente el 2.9% del país alberga el 33.7% de la riqueza avifaunística mexicana (AOU, 1998). Respecto de la estacionalidad de las aves, de acuerdo con el listado obtenido, el 69.2% del total son residentes. Asimismo, se considera una zona que es utilizada como refugio invernal (Mejía et al., 1993) al ser un lugar de paso para 117 especies (30.8%) del total registradas para la provincia del Balsas. Las áreas de mayor riqueza de especies de aves se localizan en la parte noreste, en las zonas de bosque tropical caducifolio que tienen contacto con los bosques de coníferas y encinos de la Faja Volcánica Transmexicana, y al oeste, en los ecotonos entre el bosque espinoso, el bosque tropical caducifolio y los bosques de coníferas y encinos (Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990). No obstante, las áreas de mayor riqueza de aves corresponden a la concentración del esfuerzo de muestreo, mismo que históricamente se ha desarrollado en torno a los asentamientos urbanos y vías de comunicación, lo que implica un sesgo en la estimación de la diversidad (Cuadro 1). El patrón de distribución de la riqueza de aves concuerda con el estudio realizado por Feria-Arroyo y Peterson (2002), quienes refieren que la sección este de la provincia del Balsas presenta una riqueza de aves mayor que la sección oeste. Asimismo, Ríos-Muñoz y Navarro-Sigüenza (2013) en un análisis de los patrones biogeográficos de la avifauna de las selvas secas de Mesoamérica, en el que incluye porciones de la provincia del Balsas, sugieren que la concentración de la riqueza avifaunística de las selvas secas es mayor en la parte este de la provincia del Balsas, que en el resto de la misma. Estos resultados son opuestos al patrón de riqueza de aves propuesto por Escalante et al. (1993), quienes documentan que la porción oeste de la provincia del Balsas presenta una mayor riqueza de especies que la parte este. Este patrón opuesto de riqueza de especies al interior de la provincia del Balsas se explica, si tomamos en cuenta que los análisis de las tendencias de distribución de la riqueza de aves realizados por Feria-Arroyo y Peterson (2002) y



**Figura 2.** Número de especies de aves por celda de la provincia del Balsas; el mapa superior corresponde a la avifauna residente, el mapa inferior para la avifauna total.



**Figura 3.** Dendrogramas de disimilitud generados a partir del análisis de agrupamiento con 2 coeficientes distintos entre las 21 OGUs de la provincia del Balsas, para la avifauna total a)  $1-J_{\text{clásico}}$  y b)  $1-J_{\text{mod}}$ , y la avifauna residente c)  $1-J_{\text{clásico}}$  y d)  $1-J_{\text{mod}}$ .

Ríos-Muñoz y Navarro-Sigüenza (2013) fueron elaborados a partir del modelado de la distribución potencial de las especies de aves, a diferencia del método utilizado por Escalante et al. (1993) basado en datos de presencia. La posibilidad de poder predecir las distribuciones geográficas de especies con base en puntos de presencia; así como la temporalidad de los datos, diversidad alfa acumulada, y el esfuerzo de muestreo; exhiben patrones distintos de concentración de la riqueza de especies al interior de la provincia del Balsas.

En cuanto al patrón de la diversidad  $\beta$ , los valores de disimilitud entre las OGUs obtenidos con el coeficiente  $1-J_{\text{clásico}}$  (Figs. 3a, c), indican que existe una elevada heterogeneidad en la composición avifaunística al interior de la provincia del Balsas. En contraste con lo anterior, los valores de disimilitud a partir del coeficiente  $1-J_{\text{mod}}$  (Fig. 3b, d) muestran un menor reemplazo de especies entre las OGUs. Para la avifauna total, hay 2 grupos bien definidos con un reemplazo  $\leq 60\%$ . El primer grupo lo constituyen las OGUs 2 a la 11, exceptuando a la OGU 7, pertenecientes a la sección occidental de la provincia del Balsas. Mientras que el segundo grupo lo conforman las OGUs 12 a la 21, de la sección oriental excluyendo a la OGU 14. En este grupo se incluyen las OGUs 1 y 7, que son celdas con una mayor proporción de área del medio templado, lo que les

confiere características climáticas diferentes en relación con el resto de las celdas de la sección occidental (Fig. 3b). Esto es comprensible si consideramos que, al interior de la provincia del Balsas, la sección oriental tiene una mayor proporción de área con clima semicálido e incluso templado, en comparación con la sección occidental (Fig. 1). Por ello, la OGU 1 que colinda hacia el sur con la provincia biótica sierra Madre del Sur, y la OGU 7 que limita al norte con la Faja Volcánica Transmexicana, se agrupan con la sección oriental de la provincia del Balsas. Para las especies residentes, se presentó un patrón de agrupamiento semejante al obtenido para las especies totales. Donde el componente oriental tiene a especies características como *Aimophila ruficeps*, *Campylorhynchus jocosus*, *Toxostoma curvirostre*, *Euphonia elegantissima*, *Melanerpes hypopolius* y *Xenotriccus mexicanus*, entre otras, y el componente occidental contiene a especies como *Amazilia rutila*, *Arremonops rufivirgatus*, *Cacicus melanicterus*, *Deltarhynchus flammulatus*, *Campylorhynchus rufinucha*, *Megarynchus pitangua*, *Dryocopus lineatus*, *Euphonia affinis*, *Habia rubica* y *Coccyzus minor*, entre otras. Dadas las condiciones fisiográficas de la provincia del Balsas y considerando que las mayores altitudes se presentan en la sección oriental, encontramos mayor proporción de especies de climas templados. En el otro extremo de

**Cuadro 1.** Número de localidades muestreadas, registros y riqueza de especies de aves por OGU en la provincia del Balsas. Las OGU con mayor riqueza de especies de aves comprenden a los asentamientos urbanos donde se ha realizado el mayor esfuerzo de muestreo

OGU	Localidades	Riqueza de especies	Número de registros
1	21	128	348
2	22	88	142
3	15	72	82
4	60	229	780
5	11	77	180
6	38	165	428
7	20	108	189
8	29	120	350
9	8	51	94
10	12	102	157
11	7	73	80
12	15	97	161
13	61	170	519
14	14	71	108
15	18	114	225
16	216	283	2098
17	16	87	145
18	17	61	92
19	71	163	533
20	25	70	115
21	35	106	243

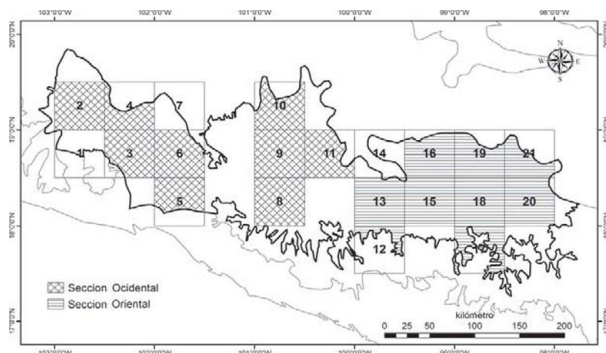
la provincia del Balsas, en la sección occidental, en su contacto con la provincia biogeográfica Planicies Costeras del Pacífico, se presentan las altitudes más bajas y los climas más cálidos y áridos, por lo que gran parte de las especies que se distribuyen en esta sección de la provincia del Balsas, son de afinidad tropical.

El agrupamiento entre las OGU de la sección oriental y occidental de la provincia del Balsas concuerda con otros estudios ecológicos y biogeográficos, sobre las tendencias de distribución y diversidad de otros taxones, tales como especies del género *Bursera*, peces y leguminosas, entre otros (Rzedowski et al., 2005; Espinosa et al., 2006; Miller, 2005; Ríos-Muñoz y Navarro-Sigüenza, 2013). Rzedowski et al. (2005) mencionan que en la provincia Florística Depresión del Balsas existen especies del género *Bursera* propias de los sectores oriental, occidental y centro. Asimismo, en el trabajo realizado bajo un enfoque biogeográfico, Espinosa et al. (2006) señalan que las áreas de distribución de especies hermanas del género *Bursera* están separadas por la sierra de Taxco y, por tanto, se ubican en 2 sectores de la provincia del Balsas: oriental y occidental. Esto sugiere que, si bien, la provincia del Balsas es una unidad biogeográfica natural, los patrones

de distribución de la biota reflejan en su disposición las condiciones fisiográficas y la conformación de los ambientes ecológicos que se presentan al interior de la misma. Esto coincide con lo mencionado por Sousa (2010), quien señala que la cuenca del río Balsas puede ser dividida en 3 zonas características: alta, media y baja, con base en los elementos florísticos de cada zona, pues cada una posee taxones endémicos propios, y compartidos con una o 2 de las subcuencas. De la misma manera, la hipótesis generada a partir del análisis de los patrones de distribución de la avifauna al interior de la provincia del Balsas en este estudio, coincide con la propuesta de regionalización de la misma elaborada por Smith (1941), quien con base en la distribución de las especies del género *Sceloporus*, dividió a lo que actualmente se reconoce como provincia biogeográfica de la cuenca del Balsas (Conabio, 1997) en Balsas Inferior y Balsas Superior.

Los valores de disimilitud y los análisis de conglomerados muestran que la OGU 14, sierra de Taxco, presenta el mayor reemplazo de especies respecto al resto de las celdas. Esta OGU se encuentra separada de todos los agrupamientos mayores y está sostenida por una disimilitud  $\leq 70\%$ . La composición de especies (e. g., *Baeolophus wollweberi*, *Campylorhynchus megalopterus*, *Vireo brevipennis*, *Eremophila alpestris*, *Melozona fusca* y *Thryomanes bewickii*, entre otras) en el área que comprende esta OGU, es de afinidad mayoritariamente norteña. Esto se explica debido a su ubicación geográfica, ya que está inserta por una prolongación de la provincia biogeográfica Faja Volcánica Transmexicana, denominada sierra de Taxco, lo que promueve una doble influencia ambiental. Presenta las mayores altitudes del área de estudio, con un rango altitudinal que va de los 1 300 hasta los 2 000 m (Fig. 1), y es la OGU con la mayor proporción de área con climas templados.

Con base en el estimador de cobertura basado en abundancias (abundance-based coverage estimator, ACE, por sus siglas en inglés), el esfuerzo de muestreo en la provincia del Balsas fue de 58%. De acuerdo con Chao et al. (2005), el coeficiente modificado ( $1-J_{\text{mod}}$ ) es más adecuado que el coeficiente clásico correspondiente para la evaluación de la disimilitud, tanto en la composición entre muestras de diferentes tamaños como en situaciones de submuestreo, y cuando es probable que las muestras tengan numerosas especies raras. Por lo que la agrupación de las OGU con el coeficiente  $1-J_{\text{mod}}$  se consideró adecuada. Este coeficiente demuestra ser menos sesgado que el coeficiente  $1-J_{\text{clásico}}$ , fuertemente afectado por el tamaño de muestra y sensible al submuestreo, entre ensamblajes hiperdiversos, en los cuales una porción sustancial de sus especies no se registra en las muestras (Chao et al., 2005). Por ello, en los dendrogramas generados con el



**Figura 4.** Representación de los 2 componentes avifaunísticos al interior de la provincia del Balsas; uno corresponde al sector oriental y otro al sector occidental. Las OGU 1, 7 y 14 presentan especies con afinidad al medio más templado y se ilustran en color blanco.

coeficiente  $1-J_{mod.}$ , tanto para la avifauna total y para la avifauna residente se presenta una mayor homogeneidad en la composición de aves al interior de la provincia del Balsas. Es importante mencionar que el coeficiente  $1-J_{mod.}$  está desarrollado bajo un método probabilístico no paramétrico que no requiere de ningún supuesto en cuanto a las distribuciones de las abundancias de las especies. Mismo que es válido bajo muchos modelos estadísticos de la abundancia (Chao et al., 2005).

El reconocimiento de 2 componentes avifaunísticos en la provincia del Balsas y la concordancia entre patrones de distribución de distintos taxones no avifaunísticos, al interior de la misma, permiten identificar tendencias distribucionales que muestran una composición biótica diferente al interior de la provincia. Esto sugiere una división natural interna de esta provincia en al menos 2 sectores: occidental y oriental (Fig. 4), divididos por la sierra de Taxco (Fig. 1), principal rasgo geográfico que explicaría el patrón de distribución biótica con especies hermanas disyuntas, previamente reconocido por Toledo-Manzur (1984); Rzedowski et al. (2005) y Espinosa et al. (2006) para Burseras, y soportado por la distribución de la lagartija del género *Sceloporus* (Smith, 1941).

#### Agradecimientos

A Adolfo G. Navarro por permitirnos el uso de la base de datos del Atlas de las Aves de México y por la aportación de información para realizar el análisis. A Isaías H. Salgado por su apoyo en el análisis estadístico. A Iván Briseño por la elaboración de las figuras; a Cuauhtémoc Deloya, Elizabeth Beltrán, Leonardo J. López, Francisco S. Maradiaga y Jean C. Blancas por los comentarios hechos a las versiones anteriores de este trabajo. A los dos revisores

anónimos por las sugerencias realizadas que permitieron mejorar sustancialmente el escrito. Este proyecto se realizó con apoyo de la Coordinación Nacional de Becas para la Educación Superior, con una beca modalidad titulación para la primera autora.

#### Literatura citada

- AOU (American Ornithologists' Union). 1998. Check list of North American birds. Seventh edition. American Ornithologists' Union, Washington, D. C. 829 p.
- Arriaga, L., C. Aguilar, D. Espinosa-Organista y R. Jiménez. 1997. Regionalización ecológica y biogeográfica de México. Taller de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 327 p.
- BirdLife International. 2013. Endemic bird area factsheet: Balsas region and interior Oaxaca (<http://www.birdlife.org>); última consulta: 28.III.2013.
- Ceballos, G., J. Arroyo-Cabrales, R. Medellín, L. Medrano-González y G. Oliva. 2005. Diversidad y conservación de los mamíferos de México. In Los mamíferos silvestres de México, G. Ceballos y G. Oliva (coords.). Conabio, Fondo de Cultura Económica, México, D. F. p. 21-66.
- Chao, A., R. L. Chazdon, R. K. Colwell y T. J. Shen. 2005. A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. *Ecology Letters* 8:148-159.
- Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1997. Mapa de provincias biogeográficas de México, escala 1: 4 000 000. México, D. F.
- Colwell, R. K. 2005. Estimates: statistical estimation of species richness and shared species from Samples. Versión 8.0. Guía de usuario y aplicación pública (<http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>); última consulta: 01.III.2013.
- Crovello, T. J. 1981. Quantitative biogeography: an overview. *Taxon* 30:563-575.
- Escalante, P., A. G. Navarro-Sigüenza y A. T. Peterson. 1993. A geographic, ecological and historical analysis of land birds diversity in Mexico. In Biological diversity of Mexico: origins and distribution, T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). Oxford University Press, Oxford. p. 281-307.
- Espinosa, D., J. J. Morrone, C. Aguilar y J. Llorente. 2000. Regionalización biogeográfica de México: provincias bióticas. In Biodiversidad taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento, vol. II, J. Llorente, E. González y N. Papavero (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México. Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, D. F. p. 61-94.
- Espinosa, D., C. Aguilar y T. Escalante. 2001. Endemismo, área de endemismo y regionalización biogeográfica. In Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: conceptos, teorías, métodos y aplicaciones, J. Llorente-Bousquets y J. J. Morrone (eds.). Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, D. F. p. 31-37.
- Espinosa, D., J. Llorente y J. J. Morrone. 2006. Historical bio-

- geographical patterns of the species of *Bursera* (Burseraceae) and their taxonomic implications. *Journal of Biogeography* 33:1945-1958.
- Espinosa, D., S. Ocegueda, C. Aguilar, O. Flores y J. Llorente-Bousquets. 2008. El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. *In* Capital natural de México, vol. 1: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio. México. D. F. p. 22-65.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 1999. Arc View GIS 3.2., Redlands, California.
- Feria-Arroyo, T. P. 2001. Patrones de distribución de las aves residentes de la cuenca del Balsas. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 83 p.
- Feria-Arroyo, T. P. y A. T. Peterson. 2002. Prediction of bird community composition based on point-occurrence data and inferential algorithms: a valuable tool in biodiversity assessments. *Diversity and Distributions* 8:49-56.
- Gámez, N., T. Escalante, G. Rodríguez, M. Linaje y J. J. Morrone. 2012. Caracterización biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana y análisis de los patrones de distribución de su mastofauna. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83:258-272.
- García-Trejo, E. A. y A. G. Navarro-Sigüenza. 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.
- Inegi (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1990. Lugo-Hubp, J., R. Vidal, A. Fernández-Eguiarte, A. Gallegos-García, J. Zavala-H y otros. Hipsometría. Extraído de Hipsometría y Batimetría, I.I.1. Atlas Nacional de México, vol. I. Escala 1: 4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F.
- Mejía, M., F. Villaseñor y F. Méndez. 1993. Afinidad avifaunística entre dos valles intermontanos de Norte y Sudamérica. *Boletín de la Sociedad Zoológica de Uruguay. Segunda época* 8:218-238.
- Miller, R. R., W. L. Minckley y S. M. Norris. 2005. Freshwater fishes of Mexico. The University of Chicago Press, Chicago. 490 p.
- Morrone, J. J. y T. Escalante. 2002. Parsimony analysis of endemicity (PAE) of Mexican terrestrial mammals at different area units: when size matters. *Journal Biogeography* 29:1095-1104.
- Morrone, J. J. 2004. Panbiogeografía, componentes bióticos y zonas de transición. *Coleopterists Bulletin* 48:149-162.
- Morrone, J. J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76:207:252.
- Munguía, M. 2006. Relación entre el área de distribución y el nicho ecológico: implicaciones ecológicas en los mamíferos endémicos de México. Tesis maestría, Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 52 p.
- Navarro-Sigüenza, A. G. y H. Benítez. 1993. Patrones de riqueza y endemismo de las aves. *Ciencias Núm especial*. p. 45-54.
- Navarro-Sigüenza, A. G., A. T. Peterson y A. Gordillo-Martínez. 2003. Museums working together: the atlas of the birds of Mexico. *In* Why museums matter: avian archives in an age of extinction, N. Collar, C. Fisher y C. Feare (eds.). *Bulletin British Ornithologist's Club Supplement*. p. 207-225.
- Ramírez-Albores, J. E. 2007. Bird diversity and conservation of Alto Balsas (Southwestern Puebla) Mexico. *Revista de Biología Tropical* 55:287-300.
- Ríos-Muñoz, C. A. 2006. Patrones biogeográficos de la avifauna de las selvas secas de Mesoamérica. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 73 p.
- Ríos-Muñoz, C. A. y A. G. Navarro-Sigüenza. 2013. Patterns of species richness and biogeographic regionalization of the avifaunas of the seasonally dry tropical forest in Mesoamerica. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 43:171-182
- Rodríguez-Jiménez, C., R. Fernández-Nava, M. L. Arreguín-Sánchez y A. Rodríguez-Jiménez. 2005. Plantas vasculares endémicas de la cuenca del río Balsas, México. *Polibotánica* 20:73-99
- Rosas-Valdés, R. y G. Pérez-Ponce de León. 2008. Composición taxonómica de los helmintos parásitos de ictalúridos y heptaptéridos (Osteichthyes: Siluriformes) de México, con una hipótesis de homología biogeográfica primaria. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79:473-499
- Rzedowski, J. 1978. La vegetación de México. Limusa. México. 432 p.
- Rzedowski, J. y T. Reyna-Trujillo. 1990. Tópicos biogeográficos. Mapa IV.8.3 *In* Atlas Nacional de México, vol. III. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F.
- Rzedowski, J., R. Medina-Lemos y G. Calderón. 2005. Inventario del conocimiento taxonómico, así como de la diversidad y del endemismo regionales de las especies mexicanas de *Bursera* (Burseraceae). *Acta Botanica Mexicana* 70:85-111.
- Sousa, S. M. 2010. Centro de endemismo de las leguminosas. *In* Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México, G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury y R. Dircio (eds.). Fondo de Cultura Económica, Conabio. México, D. F. p. 78-91.
- Smith, H. M. 1941. Las provincias bióticas de México, según la distribución geográfica de las lagartijas del género *Sceloporus*. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 2:103-110.
- StataCorp LP. 2012. 4905 Lakeway Drive, College Station, TX 77845.
- Toledo-Manzur, C. A. 1984. Contribuciones a la flora de Guerrero: tres especies nuevas del género *Bursera* (Burseraceae). *Biótica* 9:441-449.