

EFFECTO DE LA COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL Y EL CONTEXTO PAISAJÍSTICO EN LA AVIFAUNA DE SISTEMAS AGROFORESTALES CAFETALEROS

Elena Florian¹, Celia A. Harvey², Bryan Finegan¹, Tamara Benjamin¹, & Gabriela Soto¹

¹Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Apartado 7170,
Turrialba, Costa Rica.

Correo electrónico: eflorian@catie.ac.cr

²Conservation International, 2011 Crystal Drive, Suite 500, Arlington, Virginia 22202, USA.

Abstract. – The effect of structural complexity and landscape context in the avifauna of coffee agroforestry systems. – Numerous studies have shown the importance of coffee agroforestry systems for avifauna biodiversity. However, there is still little known on how the structural complexity of coffee agroforestry systems and landscape context affect composition in these systems. This study explored the relationships between structural complexity, landscape context (surrounding forest cover), and bird communities present in these systems within the Volcánica Central – Talamanca Biological Corridor (CBVCT), Costa Rica. We examined the structural, floristic and management characteristics of 20 shade coffee farms with *Erythrina poeppigiana* (CE) and 20 shade coffee farms with *E. poeppigiana* and *Cordia alliodora* (CEC). The percentage of forest cover around each farm was calculated at distance radius of 500 m, 1000 m and 1500 m in order to examine the effect of landscape context. Birds were sampled in the 40 coffee farms and five forests by using point counts. A total of 1687 individuals (101 species) were observed in coffee farms, the majority of which were generalist species. A total of 1064 individuals (85 species) were registered in CEC farms and 623 individuals (56 species) were registered in CE farms, indicating greater species richness, abundance and bird diversity in coffee farms with greater structural complexity explained by the presence of a timber tree species such as *C. alliodora*, epiphytes and a higher canopy. The surrounding forest cover had a negative effect in the overall abundance, species richness, and diversity of generalist birds, but had a positive effect on forest specialists, indicating that coffee agroforestry systems with greater structural complexity and high surrounding forest cover can harbor some bird species with a high conservation value. Increasing the structural complexity of coffee agroforestry systems and forest cover around coffee plantations can aid bird conservation efforts in anthropogenic landscapes.

Resumen. – Numerosos estudios han mostrado la importancia de los sistemas agroforestales cafetaleros para la biodiversidad de avifauna. Sin embargo, se ha generado poco conocimiento para entender cómo la complejidad estructural y el contexto paisajístico de estos sistemas afectan la diversidad y la composición de aves. Este estudio exploró las relaciones entre la complejidad estructural, el contexto paisajístico (cobertura de bosque aledaño), y las comunidades de aves presentes en estos sistemas en el Corredor Biológico Volcánica Central – Talamanca (CBVCT), Costa Rica. Se examinaron las características estructurales, florísticas y de manejo de 20 cafetales con sombríos de *Erythrina poeppigiana* (CE), y 20 con sombríos de *E. poeppigiana* y *Cordia alliodora* (CEC). Se calculó el porcentaje de cobertura de bosque alrededor de cada finca a radios de distancia de 500 m, 1000 m y 1500 m para examinar el efecto del contexto de paisaje. Se realizaron muestreos de aves en las 40 fincas cafetaleras y cinco bosques, utilizando puntos de conteo. Se registraron 1687 individuos (101 especies) en los cafetales, la mayoría de especies generalistas. En total, 1064

individuos (85 especies) fueron registrados en cafetales CEC y 623 individuos (56 especies) fueron registradas en cafetales CE, indicando una mayor riqueza, mayor abundancia y mayor diversidad de aves en cafetales con una mayor complejidad estructural por la presencia de especies maderables como *C. alliodora*, epífitas y un dosel alto. La cobertura de bosque alledaño a los cafetales tuvo un efecto negativo en la abundancia, riqueza y diversidad de aves generalistas, pero fue positivo en aves especialistas de bosque, lo cual indica que los sistemas agroforestales cafetaleros con mayor complejidad estructural y alta cobertura de bosque pueden albergar algunas especies de alto valor para la conservación. Incrementar la complejidad estructural de los sistemas agroforestales y la cobertura de bosque alledaño puede favorecer la conservación de la avifauna en paisajes antropogénicos. *Aceptado el 11 de Diciembre de 2007.*

Key words: Biodiversity; forest cover; connectivity, *Coffea arabica*, *Cordia alliodora*, *Erythrina poeppigiana*, fragmentation, landscape.

INTRODUCCIÓN

La acelerada pérdida del hábitat natural y la fragmentación de bosques ha traído serias consecuencias para la conservación de la biodiversidad en paisajes agrícolas. Los sistemas agroforestales cafetaleros tienen el potencial de albergar una alta riqueza de especies y constituyen una herramienta valiosa que podría emplearse para complementar los esfuerzos de conservación. El café es un cultivo que tiene gran importancia económica, el cual domina en muchos paisajes agrícolas del trópico. Numerosos estudios han mostrado que los sistemas agroforestales con mayor complejidad estructural son capaces de albergar una biodiversidad abundante (Greenberg *et al.* 1997a, 1997b; Moguel & Toledo 1999, Somarriba *et al.* 2004) dentro de los paisajes agrícolas. Estos sistemas pueden atraer una gran variedad de aves y proveer refugio para estos organismos. Sin embargo, la capacidad de atraer y mantener estos organismos dependerá de su complejidad estructural y la composición del paisaje (Wunderle & Latta 1998, Moguel & Toledo 1999, Somarriba *et al.* 2004). Algunos estudios han documentado la relación entre la complejidad de los sistemas agroforestales de café y la diversidad de aves. Sin embargo, no existe mucha información para entender cómo la complejidad estructural de estos sistemas y el contexto de paisaje (cobertura de bosque) alrededor de las fincas

afectan las comunidades de aves. Explorar este tipo de relaciones es importante ya que el café se cultiva en paisajes muy heterogéneos bajo un rango amplio de contextos paisajísticos, lo cual puede tener implicaciones importantes en el manejo y conservación de la avifauna. Por lo tanto, este estudio buscó evaluar el efecto de la complejidad estructural de los sistemas agroforestales cafetaleros y la cobertura de bosque alrededor de fincas agroforestales de café en comunidades de aves presentes dentro del Corredor Biológico Volcánica Central – Talamanca (CBVCT) en Costa Rica.

MÉTODOS

Sitio de estudio. El CBVCT se ubica principalmente en los cantones de Turrialba y Jiménez de la Provincia de Cartago (09°73'N, 83°43'W) y abarca una extensión de 71 386 ha. Contiene un mosaico de usos de suelo compuesto principalmente por bosques (40%), pasturas (24%) y café (14%) (Murrieta 2006). El relieve es topográficamente diverso y varía entre los 500 y 3000 m de altitud; las condiciones climáticas de la zona están fuertemente influenciadas por los vientos alisios. Para este estudio se seleccionaron 20 cafetales con sombríos de *Erythrina poeppigiana* (CE) y 20 cafetales con sombríos de *E. poeppigiana* y *Cordia alliodora* (CEC), mediante un muestreo aleatorio de tipologías cafetaleras previamente

descritas de acuerdo a la composición y la complejidad estructural de los sistemas encontrados en las bases de datos de las Asociación de Productores Orgánicos de Turrialba (APOT), y el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE). Estas tipologías fueron verificadas visualmente en el campo. Los cafetales fueron seleccionados de acuerdo a la tipología, rango altitudinal de 650 a 1000 m, y un área mínima de 2,5 ha. El rango promedio de las fincas seleccionadas fue de $18 \pm 4,9$ ha.

Caracterización florística, estructural y manejo de los cafetales. En cada cafetal, se establecieron dos parcelas de 50 m x 50 m a una distancia de 100 m entre parcelas para caracterizar la vegetación y su estructura. En cada parcela, se identificaron, contaron y midieron todos los árboles con un diámetro a la altura del pecho mayor de 10 cm. La altura del dosel se midió con un clinómetro. Además, se registraron todas aquellas plantas que produjeron flores o frutas en el momento del muestreo. Para caracterizar el manejo de cafetal, se midió la altura de 10 cafetos seleccionados al azar, y se contaron el número de cafetos con poda parcial o total. Para caracterizar de forma más detallada el manejo, se subdividió la parcela de vegetación en subparcelas de 10 m x 10 m. En el centro de cada una de las 25 subparcelas, se calculó el índice de heterogeneidad estructural (Thiollay 1992), el cual estima el porcentaje de cobertura de foliar para cada uno de los estratos del cafetal (0–2, 2–9, 10–20 y > 20 m) a través de la aplicación de un índice que va de 1 a 3 (1 = 1–33%, 2 = 34–66%, 3 = 67–100% de cobertura foliar). El índice de heterogeneidad estructural se genera a partir de la suma de los índices de cada uno de los estratos. Adicionalmente, se calculó el porcentaje de cobertura del dosel, el porcentaje de cobertura de malezas y la altura de las malezas.

Cobertura de bosque alrededor de las fincas de café (contexto paisajístico). La interpretación y la digi-

talización de la cobertura de bosque fueron realizadas con el programa Arc View 3.3 (Environmental Systems Research Institute 2002) en fotografías aéreas infrarrojas del año 2003, a una escala de 1:15 000. Cada finca se colocó en el centro de círculos concéntricos con radios de 500, 1000 y 1500 m, y se calculó el porcentaje de cobertura de bosque dentro de cada círculo con ayuda de del programa Arc View 3.3.

Caracterización de las comunidades de aves. En cada uno de los 40 cafetales, se establecieron dos puntos de conteo (parcelas circulares), cada una con un radio de 25 m, para realizar los conteos de aves (Hutto *et. al* 1986, Ralph *et al.* 1996). Cada punto de conteo se ubicó dentro de cada parcela de vegetación en cada uno de los 40 cafetales (20 cafetales con sombríos de *E. poeppigiana* y 20 cafetales con sombríos de *E. poeppigiana* y *C. alliodora*). Además, se establecieron dos puntos de conteo en cada uno de los cinco bosques seleccionados, como puntos de referencia. Se realizaron las observaciones en cada punto de conteo por un periodo de 10 min entre 06:00 y 08:00 h y entre 15:30 y 17:50 h. Los conteos se realizaron durante dos periodos entre los meses de Abril a Mayo y Junio a Agosto de 2005, con la ayuda de un asistente. Se realizaron muestreos una vez para cada periodo. Para cada periodo de observación, se recopiló la siguiente información: especie, sexo (donde fuera posible) y estrato de ocurrencia. Se registraron únicamente aquellas aves que se encontraron dentro de cada punto de conteo. Para entender las relaciones de las aves con la complejidad estructural del sistema, las aves se clasificaron por estrato de ocurrencia, preferencia alimenticia, y nivel de dependencia de bosque (Stiles 1985, Stiles & Skutch 1989).

Análisis de datos. Para cada cafetal, se resumieron los datos de las características estructurales, florísticas y de manejo de la parcela de

TABLA 1. Características estructurales, florísticas y de manejo de los cafetales con sombríos de *Erythrina poeppigiana* (CE) y sombríos de *E.* y *Cordia alliodora* (CEC). Los datos presentados corresponden a valores promedios \pm el error estándar. Los asteriscos (*) indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.

Estructura	Tipo de cafetal		Valor P
	CE (n = 20)	CEC (n = 20)	
Estructura			
Número total de árboles	1,474	1,728	
Diámetro del dosel (m)	1,84 \pm 0,22	2,05 \pm 0,2	0,474
Diámetro a la altura del pecho (cm)	24,46 \pm 1,83	26,29 \pm 0,89	0,3739
Altura del dosel (m)	6,15 \pm 0,86	8,38 \pm 0,66	0,0464*
Porcentaje de árboles con epífitas	6,52 \pm 3,35	20,33 \pm 4,37	0,0165*
Índice de heterogeneidad estructural	4,44 \pm 0,09	5,66 \pm 0,13	0,0001*
Composición			
Número total de especies	18	19	
Número promedio de árboles/parcela	73,6 \pm 9,01	86,4 \pm 7,27	0,1426
Número de especies/parcela	2,65 \pm 0,39	3,4 \pm 0,31	0,2756
Individuos <i>E. poeppigiana</i> /parcela	68,55 \pm 8,02	51,85 \pm 5,03	0,087
Individuos <i>C. alliodora</i> /parcela	0,40 \pm 0,18	26,60 \pm 3,99	0,0001*
Manejo			
Porcentaje de especies de sombra podadas	5,19 \pm 0,71	5,66 \pm 0,13	0,5172
Densidad de café/ha	8,65 \pm 0,23	8,55 \pm 0,25	0,7692
Porcentaje de cobertura de sombra	44,56 \pm 3,82	50,00 \pm 3,77	0,3176
Índice de cobertura de malezas	0,79 \pm 0,18	0,70 \pm 0,17	0,7410

café. Para los datos de aves, se calculó la riqueza de especies, la equidad, y los índices de diversidad de Shannon y Simpson. La prueba t se utilizó para comparar la abundancia (número de individuos), riqueza (número de especies), los índices de diversidad, los gremios de alimentación, y la dependencia de bosque entre los cafetales CE y CEC. Un ANCOVA se empleó para determinar si las co-variables de cobertura de bosque y las variables de complejidad estructural, manejo y composición florística afectaron la abundancia y la diversidad de aves entre los diferentes tipos de sistemas agroforestales. Se generaron curvas de rarefacción con SigmaPlot (2000) para evaluar el muestreo aplicado y comparar la riqueza de especies entre los dos tipos de cafetales y los bosques. Se aplicó un análisis de cluster para diferenciar los tipos de cafetales en relación con la composición de las aves

presentes en estos sistemas (Gauch 1982), y un análisis de especies indicadoras (Dufrene & Legendre 1997) para identificar las especies indicadoras de cada grupo. El análisis de cluster y el análisis de especies indicadoras se realizaron con el programa PcOrd (McCune & Mefford 1999). Un análisis de regresión múltiple fue empleado para explorar la relación entre las características estructurales y florísticas de los cafetales y la cobertura forestal alrededor de las fincas con la abundancia y riqueza de especies de las comunidades de aves. Este análisis permitió identificar las variables que más influyeron en la abundancia y riqueza de especies de aves.

RESULTADOS

Caracterización florística, estructural y manejo de los cafetales. En este estudio se encontraron dife-

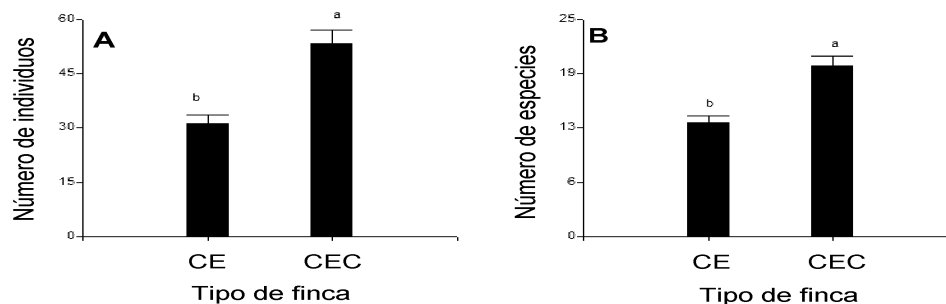


FIG. 1. Abundancia (A) y riqueza de especies (B) de aves registradas en cafetales con sombríos de *Erythrina poeppigiana* (CE) y cafetales con sombríos café de *E. poeppigiana* y *Cordia alliodora* (CEC). Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

rencias en la caracterización florística y estructural de los cafetales CE y CEC. Los resultados mostraron que la altura promedio de la cobertura arbórea, el índice de heterogeneidad estructural y la cobertura de epífitas en cafetales CEC fueron significativamente mayores que en cafetales CE, mientras que no se registraron diferencias significativas en la abundancia de la cobertura arbórea, riqueza de especies, diámetro a la altura del pecho, y diámetro del dosel entre los dos tipos de cafetales. No hubo diferencias significativas en las características de manejo como en el porcentaje de especies de sombra podadas, la densidad de cafetos, el porcentaje de sombra, y la cobertura de malezas (Tabla 1).

Caracterización de la avifauna en sistemas agroforestales cafetaleros. Un total de 1687 aves de 101 especies fueron registradas en los cafetales. La mayoría de las especies encontradas fueron generalistas, las cuales no requieren el hábitat del bosque para subsistir (66,3%), mientras que el 27,7 % de las especies tuvieron cierto grado de afinidad a áreas abiertas, márgenes del bosque y hábitat de bosque alterado. Solo el 4,9% fueron consideradas especies especialistas con un alto grado de afinidad por el hábitat de bosque poco alterado. Un total de 623 aves de 56 especies fueron observadas en

los cafetales CE, mientras que los cafetales CEC registraron 1064 aves de 85 especies. Los cafetales CEC tuvieron una mayor abundancia promedio de aves ($t = 4,81$, $P = 0,0001$) y una mayor riqueza de especies ($t = 4,73$, $P = 0,0001$) por finca que los cafetales CE (Fig. 1). Los resultados del análisis de cluster y del análisis de especies indicadoras mostraron diferencias en la composición de especies entre los dos tipos de cafetales, y se lograron identificar las especies más representativas de cada uno de los sistemas. La especie más representativa para los cafetales CE fue Reinita cabecicastaña (*Basileuterus rufifrons*) mientras que Tangara azuleja (*Thraupis episcopus*), Trepador cabecirrayado (*Lepidocolaptes souleyetti*), Urraca parda (*Cyanocorax morio*) y Tangara capuchidorada (*Tangara larvata*) fueron las más especies más representativas en cafetales CEC. La mayoría de las aves en cafetales y bosques fueron especies insectívoras y omnívoras; sin embargo, la abundancia y la riqueza de especies frugívoras y nectarívoras fueron mucho mayores en los bosques. Adicionalmente, la mayoría de las aves encontradas en cafetales fueron generalistas y no se encontraron diferencias significativas entre los cafetales. Por otro lado, en los bosques se destacó una alta presencia de aves dependientes de bosques.

TABLA 2. Análisis de co-varianza (ANCOVA) mostrando la relación entre la abundancia y la riqueza de aves generalistas y especialistas de bosque con la cobertura de bosque a un radio de 1000 m.

Modelos	Aves generalistas		Aves especialistas	
	Abundancia	Riqueza	Abundancia	Riqueza
Modelo	0,0034	0,0083	0,0126	0,0161
Tipo de plantación	0,0062	0,0118	0,6233	0,9999
% cobertura de bosque (co-variable)	0,0331	0,0548	0,0037	0,0043
Pendiente	-0,2	-0,05	0,01	0,01

Comunidades de aves y su relación con el contexto paisajístico. La cobertura de bosque alrededor de la plantación afectó de una forma negativa la abundancia, la riqueza de especies y la diversidad de aves. Es posible que este patrón se deba a que la mayoría de las aves registradas en los cafetales fueron especies generalistas. El análisis de co-varianza (ANCOVA) mostró que la cobertura de bosque tuvo un efecto negativo en la abundancia y la riqueza general de aves a un radio de distancia de 500, 1000 y 1500 m. Para el caso de aves especialistas de bosque, la cobertura de bosque aledaño tuvo un efecto positivo en la abundancia y la riqueza de aves (Tabla 2).

DISCUSIÓN

Comparación de las características florísticas, estructurales, de manejo y paisaje. Los resultados de este estudio mostraron diferencias significativas en la estructura y composición de las especies de sombra en los cafetales CE y CEC. Los cafetales CE se caracterizaron por no contar con un dosel superior dominado por especies maderables. Estas fincas presentaron un dosel medio dominado principalmente por *E. poeppigiana*, la cual fue manejada de forma intensiva a través de podas frecuentes. Además, la cobertura de epífitas y la diversidad florística fueron mucho más bajas que en los cafetales CEC. No hubo diferencias significativas en cuanto al manejo de las fincas: ambos tipos de fincas tuvieron un manejo intensivo

dado por la baja riqueza de especies arbóreas, siembra de altas densidades de cafetos, lo cual limitó el espacio disponible para establecer especies adicionales de sombra, podas frecuentes de *E. poeppigiana*, y aplicaciones de agroquímicos.

La baja abundancia y la baja riqueza de especies en cafetales CE indican que los sistemas agroforestales que cuentan con un solo estrato dominado por *E. poeppigiana* proveen un hábitat de menor calidad para las aves. Esto probablemente se deba al manejo intensivo de las podas frecuentes que sufre *E. poeppigiana* para regular el nivel de sombra. Este manejo afecta la distribución de follaje, flores y frutas, por lo que puede alterar los patrones de forrajeo, abundancia y anidación de muchas aves (Calvo & Blake 1998). En cambio, los cafetales CEC proveen un mejor hábitat para las aves debido a que los sistemas agroforestales con mayor complejidad estructural proveen alimento, sitios para anidación y reproducción (Greenberg *et al.* 1997a, 1997b; Somarriba *et al.* 2004). La cobertura de epífitas presente en *C. alliodora* parece beneficiar la abundancia, la riqueza de especies y la diversidad de aves, ya que provee una variedad de microhábitats que se consideran sitios importantes de refugio y alimentación (Somarriba *et al.* 2004, Cruz-Angón & Greenberg 2005), sobretodo cuando las demás especies de sombra no están en el periodo de floración o fructificación. El 40% de la cobertura de bosque del CBVCT se encuentra en un paisaje domi-

nado por una matriz de pasturas y cafetales. Sin embargo, el alto grado de fragmentación y la presencia de un bajo nivel de complejidad estructural parecen favorecer las especies generalistas y ponen en amenaza la supervivencia de aquellas que son dependientes de bosque.

Efectos de la complejidad estructural del cafetal y cobertura de bosque. Las fincas con mayor complejidad estructural lograron albergar una mayor abundancia y una mayor riqueza de especies de aves que los cafetales con menor complejidad estructural. La incorporación de la cobertura arbórea incrementó la complejidad estructural del sistema agroforestal, el cual logra proveer hábitat y recursos adicionales a las aves para su alimentación, protección y reproducción (Greenberg *et al.* 1997a, 1997b; Somarriba *et al.* 2004). La mayoría de las especies presentes en las fincas agroforestales fueron especies generalistas, las cuales se adaptan mejor en áreas abiertas y no necesariamente requieren bosque para subsistir. Solo el 4,9% de las especies de aves registradas en las fincas agroforestales con café fueron especialistas de bosque debido a los pocos recursos disponibles para muchas de estas especies. Las pocas aves especialistas de bosque se encontraron en su mayoría en fincas con una mayor complejidad estructural y una alta cobertura de bosque alrededor, lo cual resaltó la importancia de la conectividad de los bosques en el paisaje para facilitar el desplazamiento de muchas aves a otros sitios.

Las aves generalistas no requieren bosque para subsistir y se esperaría que estas especies se adapten mejor en paisajes sumamente fragmentados y donde el efecto de borde es mayor (Forman 1995, Gutzwiller & Barrow 2005). Sin embargo, los cafetales con mayor cobertura forestal tendieron a favorecer especies dependientes de bosque. Esto se debe a que las aves especialistas requieren hábitat de “bosque interior” y extensiones grandes de

bosque o áreas interconectadas de bosque para vivir y reproducirse, y son especies sensibles a la fragmentación del paisaje (Lord & Norton 1990).

CONCLUSIONES

Los sistemas agroforestales cafetaleros con una mayor complejidad estructural tienen el potencial de mantener una mayor abundancia y mayor riqueza de especies de aves dentro del CBVCT, por lo tanto es necesario promover prácticas que contribuyan a incrementar la diversificación de los cafetales.

Es necesario tomar en cuenta la estructura espacial y la estructura temporal del componente arbóreo en fincas agroforestales. Para esto se podría incorporar otras especies que podrían atraer especies de otros gremios de alimentación como aves frugívoras y nectarívoras.

Cafetales con una mayor complejidad estructural y una mayor cobertura de bosque alrededor de las plantaciones favorecen la presencia de especies de aves dependientes de bosque, lo cual refleja la importancia de conservar el hábitat forestal para garantizar la persistencia de muchas de estas especies en paisajes dominados por una matriz agrícola.

Es importante implementar programas de certificación, los cuales podrían generar nuevas estrategias de mercado. Esto puede contribuir a conservar y promover la diversificación de sistemas agroforestales o la conversión de cafetales sin sombra a cafetales con una mayor complejidad estructural y considerar, la importancia de mantener los fragmentos de bosques aledaños a las fincas de café.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos agradecer el apoyo recibido por parte de la Comisión de Gestión del Corredor Biológico Volcánica Central – Talamanca (CBVCT), el Instituto del Café de Costa Rica

(ICAFE), la Asociación de Productores Orgánicos de Turrialba (APOT), y los miembros del equipo del Proyecto IGERT-CAFÉ. Adicionalmente, quisiéramos agradecer la valiosa asistencia de José Manuel Torres, Christian Brenes, Alexis Pérez, Nixón Navarro, Anna Marsch, Fernando Casanoves, Diego Delgado, Gustavo López, Patricia Hernández, José Luis Santiváñez y Philippe Tanimoto. Agradecemos a los numerosos productores de café y propietarios de bosques, los cuales nos brindaron permiso para trabajar en sus propiedades. Este estudio se realizó gracias al apoyo financiero de la Fundación Nacional de Ciencias (NSF) de los Estados Unidos de América a través de la Universidad de Idaho y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

REFERENCIAS

- Calvo, L., & J. Blake. 1998. Bird diversity and abundance on two different shade coffee plantations in Guatemala. *Bird Conserv. Int.* 8: 297–308.
- Cruz-Angón, A., & R. Greenberg. 2005. Are epiphytes important for birds in coffee plantations? *J. Appl. Ecol.* 42: 150–159.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI) 2002. Arc View GIS 3.3 software. HCL Technologies Ltd., New Delhi, India.
- Dufrene, M., & P. Legendre. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol. Monogr.* 67: 345–366.
- Forman, R. T. T. 1995. Land mosaics: the ecology of landscapes and regions. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- Gauch, H. G. 1982. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- Greenberg, R., P. Bichier, A. Cruz-Angón, & R. Reitsma. 1997a. Bird populations in shade and sun coffee plantations in Central Guatemala. *Conserv. Biol.* 11: 448–459.
- Greenberg, R., P. Bichier & J. Sterling. 1997b. Bird populations in rustic and planted shade coffee plantations of eastern Chiapas, Mexico. *Biotropica* 29: 501–514.
- Gutzwiller, K. J., & W. C. Barrow. 2002. Does bird community structure vary with landscape patchiness? A Chihuahuan desert perspective. *Oikos* 98: 284–298.
- Hutto, R. L., S. M. Pletschet, & P. Hendricks. 1986. A fixed-radius point count method for non-breeding season use. *Auk* 103: 593–602.
- Lord, J. M., & D. A. Norton. 1990. Scale and the spatial concept of fragmentation. *Conserv. Biol.* 4: 197–202.
- Moguel, P., & V. M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems in Mexico. *Conserv. Biol.* 12: 1–11.
- Murrieta, E. 2006. Characterization of vegetation cover and proposed ecological connectivity network in the Volcánica Central – Talamanca Biological Corridor, Costa Rica. MSc thesis, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Ralph, C. J., G. R. Geupel, P. Puly, T. E. Martin, D. F. De Sante, & B. Milla. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. General Technical Report, Pacific Southwest Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, Albany, California.
- SigmaPlot. 2000. SPSS Inc. Chicago, Illinois.
- Somarrriba, E., C. A. Harvey, F. A. Samper, J. González, C. Staver, & R. A. Rice. 2004. Biodiversity conservation in Neotropical (*Coffea arabica*) plantations. Pp. 198 – 226 in Gotz, S., A. B. da Fonseca, C. A. Harvey, H. L. Vasconcelos, & A. M. N. Izac (eds.). Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. Island Press, Washington, D.C.
- Stiles, F. G. 1985. Conservation of forest birds in Costa Rica: problems and perspectives. Pp. 142–169 in Diamond, A. W., & T. E. Lovejoy (eds.). Conservation of tropical birds. Technical Publication No. 4, International Council of Bird Preservation, Cambridge, UK.
- Stiles, F. G., & A. F. Skutch. 1989. A guide to birds of Costa Rica. Comstock Publishing Associates, Ithaca, New York.
- Thiollay, J. M. 1992. Influence of selective logging on bird species diversity in Guianan rain forest. *Conserv. Biol.* 6: 47–63.
- Wunderle, J., & S. C. Latta. 1998. Avian resource use in Dominican shade coffee plantations. *Wilson Bull.* 110: 271–281.