

Avances de Investigación

Relación entre las comunidades de aves y la vegetación en agropaisajes dominados por la ganadería en Costa Rica, Nicaragua y Colombia

Joel C. Sáenz¹; Federico Villatoro¹; Muhammad Ibrahim²; David Fajardo³; Mijail Pérez⁴

Palabras claves: análisis multivariado; riqueza de aves; sistemas silvopastoriles; variables de hábitat.

RESUMEN

Los ecosistemas son naturalmente fragmentados, pero la deforestación y fragmentación antropogénica ha sido severa durante el último siglo. Por lo tanto, es esencial identificar patrones de paisaje críticos para la conservación de aves en ecosistemas con manejo silvopastoril. Se evaluó y comparó la riqueza de especies de aves en tres agropaisajes en Nicaragua, Costa Rica y Colombia. Se encontraron 154 especies de aves en el paisaje de Nicaragua, 111 en Costa Rica y 170 en Colombia. Un 4% de las especies de Matiguás son dependientes de bosques, 64% necesitan al menos fragmentos de bosques para su supervivencia y 10% tienen poblaciones reducidas. En Esparza, los valores alcanzaron un 33,2; 60,5 y 6,3%, respectivamente. En el río La Vieja, el 11% de las aves son dependientes de bosque y el 54% dependen de fragmentos de bosque. La riqueza de aves mostró diferencias significativas entre usos del suelo en todos los sitios. Las pasturas naturales con alta densidad de árboles albergaron la mayor riqueza de aves en Matiguás y el río La Vieja, y las cercas vivas en Esparza. Se encontró mayor similitud entre los usos del suelo en Esparza que en Matiguás y en el río La Vieja. El análisis de correspondencia canónica seleccionó dos variables de la vegetación leñosa que explican la riqueza de aves en el paisaje de Esparza: la cobertura del dosel (%) y la riqueza de la vegetación, mientras que en Matiguás solo la cobertura de dosel fue importante. En el río La Vieja, las variables explicativas de la riqueza de aves fueron la densidad de árboles y la cobertura del dosel. Las prácticas silvopastoriles (cercas vivas y pasturas arboladas) están desempeñando un papel importante en mantener la riqueza de aves en los paisajes ganaderos de los tres países.

The relation between bird communities and vegetation in agricultural landscapes dominated by cattle in Costa Rica, Nicaragua and Colombia

Keywords: multivariate analysis; bird richness; silvopastoral systems; habitat variables.

ABSTRACT

Ecosystems are naturally fragmented, but man-made deforestation and fragmentation have been severe during the last century. Therefore, it is essential to identify critical landscape patterns for bird conservation in ecosystems under silvopastoral management. Bird richness was evaluated and compared in three agricultural landscapes of Matiguás (Nicaragua), Esparza (Costa Rica) and the La Vieja river watershed (Quindío, Colombia). A total of 154 bird species were identified in Matiguás, 111 in Esparza and 170 in El Río La Vieja. Four percent of species found in Matiguás are forest dependent, 64% need at least forest fragments to survive, and 10% undergone a population decrease. In Esparza, the values for the same categories were 33.2; 60.5 and 6.3%, respectively. In La Vieja, 11% of the species were forest dependent and 54% needed at least forest fragments. Bird richness differed among land use types in all sites. Natural pastures with high tree density had the highest bird species richness in Matiguás and La Vieja, whereas live fences had the highest richness in Esparza. The highest similarity among different land use types was found in Esparza. The canonical correspondence analysis selected variables of forest vegetation that explain bird richness in the Esparza landscape: canopy cover and tree species richness. In Matiguás, canopy cover was the selected variable. In the La Vieja watershed, canopy cover and tree density were the best explanatory variables. Silvopastoral systems (live fences and isolated trees in pastures) play a crucial role in maintaining bird species richness in agricultural landscapes.

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, los ecólogos y biólogos de la conservación han asumido que pocos animales y plantas de los bosques tropicales nativos sobreviven en los paisajes agrícolas. Esta suposición está implícita en la

mayoría de los reportes de tasas de extinción, los cuales se basan en las relaciones área-especie y las tasas de destrucción del bosque (Lawton y May 1995). El paisaje rural aún no deforestado mantiene una “biodiversidad

¹ Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: jsaenz@una.ac.cr.

² Grupo Ganadería y Manejo del Medio Ambiente, CATIE. Correo electrónico: mibrahim@catie.ac.cr.

³ Asociación Calidris, Colombia. Correo electrónico: david@cipav.org.co

⁴ Centro de Malacología y Diversidad Animal, Universidad Centroamericana, Managua, Nicaragua. Correo electrónico: mijail@ibw.com.ni

de bosque” sustancial, especialmente en regiones con una variedad de usos del suelo (Petit et ál. 1995). Se han llevado a cabo pocas investigaciones en paisajes como los de Costa Rica y el resto de Latinoamérica, los cuales fueron ampliamente deforestados en los últimos 50 años. Estos estudios han encontrado que el 62% de las mariposas diurnas, el 42% de las polillas capturadas en los bosques aledaños, el 65% de especies de mamíferos no voladores, y la mayoría de las especies nativas ocurren en remanentes de bosques de 0,1 - 30 ha esparcidos por el paisaje (Daily et ál. 2001).

Existe una tendencia a estudiar los parches o fragmentos de bosque en mayor detalle que la matriz. Los estudios sobre el efecto de borde son más numerosos (Piper y Catterall 2003) que los estudios en hábitats manejados por humanos, como los bosques de sucesión (Silva et al. 1996), o impactos de la vida silvestre sobre las plantaciones (Somers y Morris 2002). A pesar de ello, las investigaciones sobre la influencia de las características del fragmento —tales como la cobertura, densidad y riqueza de árboles— sobre la ocurrencia de especies en la matriz adyacente a los fragmentos de bosque todavía son escasas.

Los estudios sobre la relación aves-hábitat son importantes para entender los impactos humanos sobre la diversidad aviaria. Sin embargo, la colinearidad entre las variables explicatorias y la autocorrelación espacial pueden impedir la detección de factores claves en las relaciones ave-ambiente cuando se usa la aproximación tradicional de la regresión (Heikkinen et ál. 2004). La cobertura de dosel (vertical y horizontal), tamaño y forma del fragmento, diámetro a la altura del pecho de los árboles y la heterogeneidad del hábitat presentan una alta correlación con la riqueza y abundancia de las aves (Sekercioglu 2002, Martínez-Morales 2005). Además, las aves de bosque pueden declinar en un hábitat altamente heterogéneo como los parches extensos y abiertos (Dranzo 1998). Es posible que el número de nichos y/o el área de hábitat sustentable disponible para las aves de bosque sean maximizados en los valores intermedios de la heterogeneidad horizontal, donde existe una variada estructura del bosque, pero no en los fragmentos (Sekercioglu 2002).

Los ecosistemas son naturalmente fragmentados, pero la deforestación y fragmentación antropogénica ha sido severa durante el último siglo. Por lo tanto, resulta esencial identificar patrones de paisaje cítricos para la conservación de aves en ecosistemas con manejo silvopastoril. En ese sentido, para entender cómo las

características de los usos del suelo que existen en estos paisajes afectan la riqueza de especies de aves, se exploraron de 12 a 16 usos del suelo (hábitats) en tres agropaisajes de Nicaragua (Matiguás), Colombia (Río La Vieja) y Costa Rica (Esparza). Además, se analizó la respuesta de la riqueza de especies a las variables de hábitat en estos agropaisajes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Áreas de estudio

Matiguás se encuentra en el triángulo formado por las Reservas Naturales Sierra Quirragua, Cerro Musún y Fila Masigüe. El área está compuesta por la Comarca de Bulbul, del Municipio de Matiguás (12°50'N; 85°27'O), con una extensión de 1335 km², y la comarca de Paiwas, del Municipio de Río Blanco (12°50'N; 85°25'O), con una extensión de 700 km² (INIFOM 2006). Ambas comarcas pertenecen al Departamento de Matagalpa, Nicaragua. El área se encuentra en una zona de transición entre el bosque seco tropical y húmedo. La región de Matiguás es una de las zonas ganaderas claves en el centro de Nicaragua, donde se concentra la producción de ganado de doble propósito.

En Colombia, el sitio fue la cuenca media del río La Vieja, localizado en los departamentos de Valle del Cauca (Alcalá, Ulloa y la vereda Coloradas del municipio de Cartago) y Quindío (Armenia, Circasia, Montenegro, la Tebaida y Quimbaya). Esta área se conoce como la “zona cafetera”, y cubre altitudes entre los 900 y 1850 msnm. El paisaje de esta área ha sufrido modificaciones importantes en los últimos 10 años, fragmentando aún más los hábitats naturales existentes y, en algunos casos, degradándolos. Lo anterior ha generado extinciones locales o regionales de poblaciones, convirtiendo estos espacios en “desiertos biológicos” (Kattan et ál. 2002).

El sitio de estudio en Esparza, Costa Rica, se encuentra entre los cantones de Montes de Oro, Santiago y Esparza, provincia de Puntarenas, al noroeste de Costa Rica (09°59'N; 84°38'O; 50-900 msnm), y cubre una extensión aproximada de 432 km² (Chinchilla 1987). El área se encuentra en las zonas de vida de bosque subhúmedo tropical, bosque seco y bosque seco transición a bosque húmedo premontano (Obando 2002), con una temperatura promedio de 27 °C y una precipitación promedio de 3897 mm año⁻¹, con un período seco de diciembre a mayo (Chinchilla 1987). El paisaje está conformado por una matriz de pasturas, fragmentos de bosques secundarios, bosques riparios y charrales. Los bosques riparios son de escasa extensión y de

formas lineales, que en su mayoría no superan los 50 m de ancho. La actividad predominante en Esparza es la producción ganadera (carne y leche) y la diversidad arbórea estimada es de 186 especies, pertenecientes a 58 familias.

Selección de fincas y parcelas

La selección de parcelas de los usos de suelo se realizó con base en los mapas de usos de suelo del proyecto Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas, ejecutado por el CATIE en Costa Rica, Nitlapán en Nicaragua y CIPAV en Colombia. Se seleccionaron al azar los usos del suelo con la ayuda de fotografías aéreas a escala 1:40000, imágenes de satélite

Quickbird (2003) y mapas elaborados en ArcSIG. En Nicaragua y Colombia se seleccionaron 12 usos del suelo, mientras que en Costa Rica se usaron 16. El número de parcelas por uso del suelo en cada paisaje fue mínimo (8 repeticiones); sin embargo, en Costa Rica algunos usos del suelo (banco forrajero y bosque primario) tuvieron entre 2 y 5 repeticiones. En Costa Rica se muestrearon 120 parcelas en 40 fincas; en Nicaragua, 123 parcelas, distribuidas en 41 fincas; y en Colombia 96 parcelas en 29 fincas. Con el fin de garantizar unidades homogéneas de paisaje, se seleccionaron usos del suelo con áreas mayores a 1 ha usando la clasificación empleada en el Proyecto (Chiple et ál. 2003, Murgueitio et ál. 2003, Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de los usos del suelo considerados en el estudio en los tres paisajes evaluados

Uso del suelo	Definición
Pastura degradada	Pastura con una cobertura de menos del 50% de especies deseables. (esta definición no descarta la presencia de árboles en la pastura).
Plantación de frutales	Plantaciones de leñosas perennes o semiperennes frutales o cítricos.
Pastura natural sin árboles	Pastura dominada por especies nativas o naturalizadas de baja productividad. Ausencia de árboles y arbustos.
Pastura natural con baja densidad de árboles	Menos de 30 árboles ha ⁻¹ . Dominada por especies nativas o naturalizadas; los árboles existentes tienen un dap > a 5 cm y 2 m de altura.
Pastura natural con alta densidad de árboles	Pastura dominada por especies nativas o naturalizadas; más de 30 árboles ha ⁻¹ , dap > 5 cm y 2 m de altura.
Pastura mejorada sin árboles	Pastura dominada por especies mejoradas de alta productividad con cobertura mayor al 90%. Ausencia de árboles y de arbustos.
Pastura mejorada con baja densidad de árboles	Menos de 30 árboles ha ⁻¹ . Dominada por especies mejoradas de alta productividad; árboles con dap > 5 cm y 2 m de altura.
Pastura mejorada con alta densidad de árboles	Pastura dominada por especies mejoradas o introducidas de gran vigor y productividad; los árboles son maduros y con una densidad mayor a 30 árboles ha ⁻¹ , dap > 5 cm y 2 m de altura.
Cercas vivas podadas o manejadas	Cercas o cortinas de árboles que se podan periódicamente (al menos dos veces al año) para forraje, abono o postes vivos recién establecidos. La mayoría de las cercas vivas podadas están compuestas por <i>Bursera simaruba</i> (Burseraceae).
Cercas vivas multiestrato o permanentes	Cercas o cortinas de árboles en crecimiento libre de múltiples estratos o con al menos un estrato superior mínimo de 4 m de ancho, 4 m de alto ó 4 m de copa.
Banco forrajero para corte de leñosas	Plantaciones de <i>Cratylia argentea</i> con altura mínima de 4 m, en alta densidad (> 10.000 plantas ha ⁻¹).
Plantaciones maderables	Árboles maderables, sembrados en alta densidad (> de 500 árboles ha ⁻¹), como pochote (<i>Bombacopsis quinata</i>) y teca (<i>Tectona grandis</i>). Otras plantaciones son diversas e incluyen al menos tres especies nativas, naturales o introducidas sembradas en alta densidad.
Tacotal o sucesión vegetal	Vegetación nativa en sucesión natural con menos de 5 m de altura.
Bosque ripario	Vegetación natural de distintos estratos a la orilla de ríos o cuerpos de agua, como microcuencas de cualquier tamaño, con un ancho mínimo de 4 m.
Bosque secundario intervenido	Bosque nativo intervenido con más de 10 m ² de área basal.
Bosque primario	Bosque nativo sin intervención en los últimos 30 años; más de 80% de cobertura. Alta diversidad.
Sistema silvopastoril intensivo	Pasturas mejoradas de alta productividad asociadas con arbustos forrajeros en alta densidad; mínimo 5000 arbustos ha ⁻¹ .
Bosque o plantación de guadua o bambú	Bosque o plantación homogénea o mixta de guadua u otros bambúes.
Plantación de semiperennes	Plantaciones de plátano o plantaciones de café sin sombrío.



Tucancito esmeralda (*Aulacorhynchus haematopygus*) en El Quindío, Colombia (foto: proyecto GEF-Silvopastoril)

Todas los usos descritos en el Cuadro 1 se encuentran en los tres países, excepto cercas vivas podadas o manejadas, bancos forrajeros para corte de leñosas y plantaciones maderables (solo en Costa Rica), bosque secundario intervenido (en Nicaragua), y sistemas silvopastoriles intensivos, bosque o plantación de guadua o bambú y plantaciones de semiperennes (solamente en Colombia).

Recolección de datos de aves

El conteo de aves se realizó mediante el método de puntos de conteo (Reynolds et ál. 1980). Los puntos fueron

ubicados con un GPS en el centro de cada parcela (uso de suelo) y tuvieron un radio de 25 m. En cada punto de conteo se registraron las aves presentes en el área. El registro de aves fue visual y se realizó entre las 6:00 y 10:00 h, comenzando cinco minutos después de llegar a la parcela para disminuir el efecto de perturbación. El período de observación fue de 10 minutos por uso de suelo, y se anotó la especie, el número de individuos y el estatus de cada especie (residente o migratoria). La identificación de las especies y su estatus se realizó con ayuda de la *Guía de las Aves de Colombia* y la *Guía de Aves de Costa Rica* (Hilty y Brown 2001, Stiles y Skutch 2003). Se realizaron tres visitas por parcela entre el 2003 y 2004.

Estructura de la vegetación

La caracterización de la vegetación se realizó durante la época lluviosa, siguiendo los métodos sugeridos por Schemske y Brokaw (1981) y Chipley et ál. (2003). En cada parcela de conteo de aves se ubicaron las parcelas de vegetación, cuyo centro se localizó a más de 25 m del límite del uso de suelo. A partir del centro, se extendieron dos cuerdas de 14,1 m marcadas cada 5 m y orientadas hacia los cuatro puntos cardinales, formando una cruz (que encierra un cuadrado de 20 m x 20 m) para realizar las mediciones. Se contaron todos los árboles de la parcela y a cada uno de ellos se le asignó una categoría de acuerdo con su diámetro a la altura del pecho (dap), usando una regla graduada en ocho categorías: S (3-8 cm), A (5-15 cm), B (15-23 cm), C (23-38 cm), D (38-56 cm), E (53-69 cm), F (69-84 cm) y G (>84 cm). Se registró la altura de los árboles usando un clinómetro; en el caso de los bosques, se promedió la altura de los ocho árboles más altos. Los arbustos se midieron caminando a lo largo de las cuerdas con los brazos extendidos (1,5 m) desde el centro hacia los puntos cardinales y contando los individuos con diámetro menor a 3 cm que fueron tocados por los brazos o el cuerpo al nivel del pecho. Los arbustos fueron considerados dentro de la primera categoría de dap.

En cada marca (estación) de las cuerdas de 14,1 m se estimó la cobertura del suelo usando un tubo ocular reticulado. En cada estación (20 en total), se registró la cobertura del suelo como presente (+) o ausente (-) y se estimó la cobertura del dosel con un densitómetro esférico convexo. La altura de la vegetación se estimó mediante el empleo una vara graduada en intervalos de 25 cm para el primer metro, de 50 cm para las alturas de 1-3 m, y las graduaciones siguientes fueron 3-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-12, 12-15, 15-20 y 20-30 m. En la práctica, la cobertura a alturas superiores a 6 m se estimó a simple vista.

Análisis de datos

Para las aves y la vegetación, se agruparon los conteos de los tres períodos para obtener un valor único de la riqueza⁵ por uso del suelo, bajo el supuesto de que los tres períodos cubren un ciclo anual. Se comparó la riqueza de aves entre los distintos usos del suelo usando un análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis para datos sin distribución normal y paramétrico para datos normales (Sokal y Rohlf 1995). El grado de similitud entre los usos del suelo y las especies asociadas a un determinado uso del suelo se estimaron mediante el análisis de escalonamiento multidimensional no paramétrico (NMS, siglas en inglés de *Non-metric Multidimensional Scaling*), el cual mide el grado de disimilitud entre dos entidades, usando el programa PC-ORD (McCane y Mefford 1999). Se usó el índice de similitud de Jaccard con el análisis de NMS.

Para la selección de variables de hábitat (usos del suelo), se usó un análisis de gradiente para determinar la variación de la riqueza de especies de aves a lo largo del gradiente de usos del suelo. Primero, se realizó un análisis de correspondencia rectificado (*Detrended Correspondence Analysis*, DCA) con variables previamente estandarizadas; el mayor valor del primer Eje X permitió elegir el tipo de análisis siguiente, lineal (longitud del eje < 3) y unimodal (longitud del eje > 4) y para valores intermedios. Se usó un análisis de correspondencia canónico (CCA, Ter Braak y Smilauer 2002) cuando la respuesta de las variables fue unimodal; y cuando las variables tuvieron una respuesta lineal se usó un análisis de redundancia (RDA). Posteriormente, se seleccionó la variable que mejor explicó la riqueza de aves usando un modelo de regresión paso a paso hacia delante (*stepwise forward*) y probando la significancia de la selección mediante permutaciones de Montecarlo con pruebas de *F*. El criterio para mantener una variable dentro el modelo fue de $p < 0,05$ y para retirarla $p > 0,10$. Con las variables seleccionadas (regresoras), se realizó un ajuste usando un modelo lineal generalizado (GLM) y el número de especies de aves como variable dependiente; de esta manera, se pudo determinar en algunos casos el óptimo de esta variable, el cual a su vez produjo un óptimo de riqueza de aves. Se usó el criterio de Akaike (AIC, *Akaike Information Criterion*) y valores de *F* para el mejor ajuste del modelo. La mejor variable fue la que tuvo el menor valor de AIC y un valor *F* significativo. Los análisis se realizaron utilizando los programas CANOCO 4.5 para Windows (Ter Braak y Smilauer 2002) y PC-ORD (McCane y Mefford 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número total de especies de aves en la zona de Esparza fue de 111 (Figura 1a), en Matiguás de 154 (Figura 1b) y en Río La Vieja 170 (Figura 1c). En Esparza, el 60,5% de las especies encontradas necesitan fragmentos de bosques para sobrevivir; un 33,2% depende de la cobertura boscosa y un 6,3% tiene poblaciones reducidas (Stiles 1985). En Matiguás, las proporciones fueron 64, 4 y 10%, respectivamente. En el Río La Vieja, el 11% de las aves dependen de bosque y al menos un 54% dependen de fragmentos. Se encontraron diferencias significativas entre los usos del suelo para la variable riqueza de aves en Esparza ($p = 0,004$), Matiguás ($p = 0,0001$) y Río La Vieja ($p = 0,0003$).

El número elevado de especies de aves registrado en este estudio es semejante a lo reportado en usos del suelo similares en agropaisajes en otros lugares. En un paisaje ganadero de bosque seco en Cañas (Costa Rica), se encontró un total de 80 especies pertenecientes a 29 familias, siendo las pasturas con alta densidad de árboles, tacotales o charrales y las cercas vivas permanentes los que albergan el mayor número de especies (45, 45 y 42, respectivamente) y, de éstas, cerca del 40% de las especies dependen del bosque o fragmentos de bosques para su supervivencia (Cárdenas et ál. 2003). Lang et ál. (2003) registraron 81 especies de aves en cercas vivas en una zona ganadera del atlántico de Costa Rica; 47 de estas especies se registraron en cercas vivas complejas. De igual manera, en otro agropaisaje de Nicaragua con condiciones bioclimáticas similares a las de Esparza, Vílchez et ál. (2004) encontraron 83 especies de aves, de las cuales el 58% se localizó en bosque secundario, 51% en charrales y 48% en cercas vivas y pasturas con alta densidad de árboles. En estos estudios se evidencia la importancia de los sistemas silvopastoriles —como cercas vivas y pasturas arboladas— en la conservación de la avifauna, ya que albergan un número de especies semejante a los remanentes de bosque secundario y ripario inmersos en la matriz ganadera.

El análisis de disimilitud (NMS) para el paisaje de Nicaragua separó dos grupos de especies de aves. El primer grupo estuvo compuesto por aves que solo se registraron en los remanentes de bosques primarios, como el *tucán pico arcoiris* (*Ramphastos sulphuratos*), *mozotillo* (*Euphonia gouldi*), *colibrí* (*Phaetornis superciliosus*), *piranga* (*Piranga rubra*), *Habia fuscicauda*, *Caryothraustes poliogaster*, *Myrmornis torquata*, reinita (*Mniotilta varia*), jilguero (*Turdus assimilis*) y

⁵ La riqueza es el número de especies en cada uso del suelo.

trepatroncos (*Dendrocincla homochroa*). El segundo grupo estuvo constituido por aves que se encuentran en todos los demás hábitats (Figura 2a). En el paisaje de Colombia se aprecian tres grupos de aves: el primero está compuesto por 17 especies asociadas a bosques secundarios y charrales; el segundo muestra 13 especies asociadas a bosques secundarios, cultivos de café y cercas vivas multiestratos; y el tercer grupo por el resto de aves y hábitats (Figura 2b). Para Costa Rica no se encontró una asociación clara entre especies y usos del suelo específicos, lo que sugiere que todas las aves de este paisaje utilizan casi todos los usos del suelo (Figura 2c).

El NMS mostró los patrones esperados para Nicaragua y Colombia, donde existió una separación entre las coberturas boscosas (bosques primario, secundario y charrales) y el resto de los usos del suelo. En el caso de Costa Rica, no se encontró un patrón muy claro de disimilaridad, lo cual evidencia que la mayoría de las especies están aprovechando muchos usos del suelo, incluyendo los manejados por los productores (pasturas y cercas vivas). Enríquez (2005) encontró que los usos

del suelo en el mismo paisaje estudiado compartían un gran número de especies (> 50%), exceptuando el bosque primario. Cárdenas et ál. (2003) no encontraron una separación clara entre los diferentes usos del suelo y la riqueza de especies en Cañas, Costa Rica. De la misma forma, Vílchez et ál. (2004) encontraron mucha similitud en la composición de aves en los diferentes usos del suelo en un agropaisaje de Nicaragua. Es posible que la diferencia marcada entre Costa Rica y Colombia en el grado de similitud de las especies se deba a que existe una mayor cantidad de sistemas silvopastoriles (cercas vivas y árboles en potreros) en Costa Rica, los cuales son muy utilizados por las aves. Lo contrario ocurre en Colombia, cuyas fincas son más tecnificadas y presentan menos sistemas silvopastoriles, y las aves se ven obligadas a permanecer en los remanentes de bosque o cultivos permanentes (café).

Se identificó a la cobertura del dosel ($p < 0,001$; AIC = 42,756) y la riqueza de la vegetación ($p < 0,001$; AIC = 46,91) como los usos con el mayor grado de explicación de la riqueza de especies en Esparza, Costa Rica

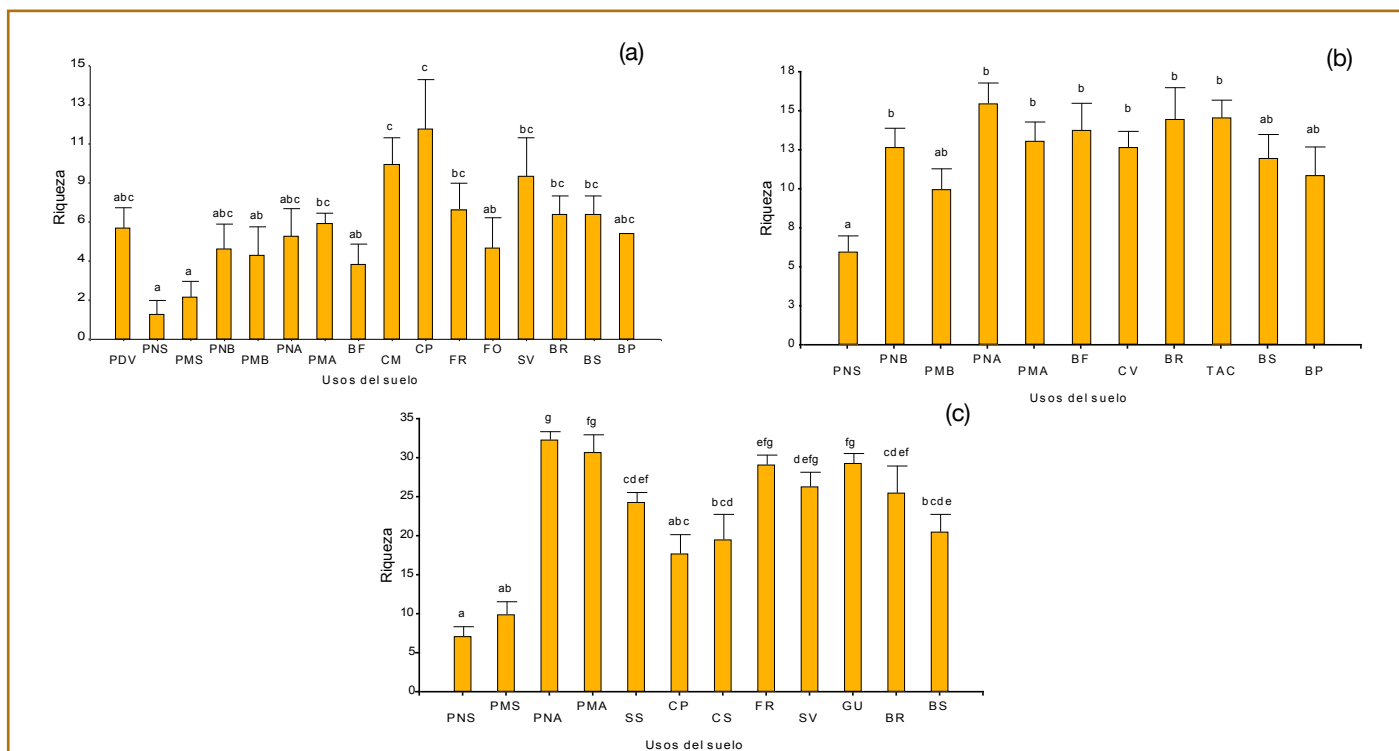


Figura 1. Riqueza de especies de aves en distintos usos del suelo en tres paisajes: a) Esparza, Costa Rica, b) Matiguás, Nicaragua, c) Río La Vieja, Colombia. BS = bosque secundario; BR = bosque ripario; SV = sucesión vegetal; CP = cerca viva permanente; CM = cerca viva manejada; BF = banco forrajero; PNA = pastura natural con alta cobertura de árboles; PMA = pastura mejorada con alta cobertura de árboles; PNB = pastura natural con baja cobertura de árboles; PMB = pastura mejorada con baja cobertura de árboles; FR = frutales; FO = plantaciones forestales; PNS = pastura natural sin árboles; PMS = pastura mejorada sin árboles; PDV = pastura degradada con vegetación; SEMI = cultivos semipermanentes (café); SS = sistema silvopastoril; GU = bosques de guadua. Las letras distintas sobre las barras indican diferencias entre los usos del suelo según Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

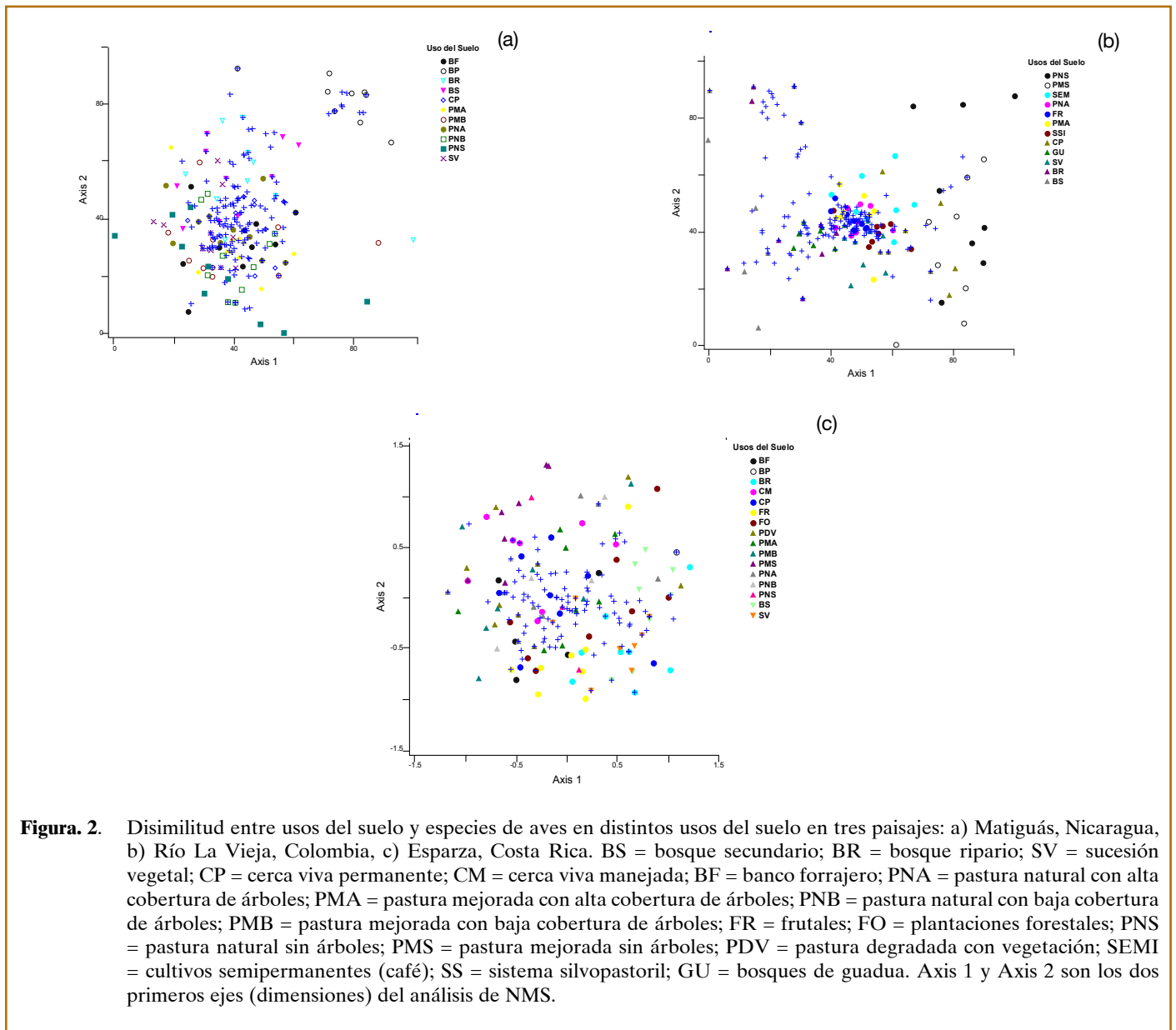


Figura 2. Disimilitud entre usos del suelo y especies de aves en distintos usos del suelo en tres paisajes: a) Matiguás, Nicaragua, b) Río La Vieja, Colombia, c) Esparza, Costa Rica. BS = bosque secundario; BR = bosque ripario; SV = sucesión vegetal; CP = cerca viva permanente; CM = cerca viva manejada; BF = banco forrajero; PNA = pastura natural con alta cobertura de árboles; PMA = pastura mejorada con alta cobertura de árboles; PNB = pastura natural con baja cobertura de árboles; PMB = pastura mejorada con baja cobertura de árboles; FR = frutales; FO = plantaciones forestales; PNS = pastura natural sin árboles; PMS = pastura mejorada sin árboles; PDV = pastura degradada con vegetación; SEMI = cultivos semipermanentes (café); SS = sistema silvopastoril; GU = bosques de guadua. Axis 1 y Axis 2 son los dos primeros ejes (dimensiones) del análisis de NMS.

(Figura 3). Se encontró una alta correlación entre la riqueza de especies de aves y la riqueza y cobertura de la vegetación (Figura 4). La cobertura del dosel tiene un óptimo de 68,2%, produciendo un óptimo de 42,0 especies de aves ($p = 0,005$; AIC = 71,9), mientras que para la riqueza-vegetación el óptimo es 11,6, el cual da un óptimo de 46,6 especies de aves ($p = 0,0001$; AIC = 80,3). En ambos casos el modelo fue cuadrático. La cobertura del dosel fue la variable que explicó la riqueza de aves en el paisaje de Matiguás. Sin embargo, hay otras variables —como la densidad de arbustos y la altura de dosel (no significativas)— que podrían tener alguna influencia en la riqueza aviar (Figura 5). La respuesta de la riqueza de aves a la cobertura del dosel sigue también una trayectoria cuadrática, cuyo modelo fue significativo

($p = 0,001$; AIC = 970,8), y genera un óptimo de cobertura del 62%, para un óptimo de 65 especies de aves (Figura 6). En Colombia, el análisis de correspondencia canónica destacó dos variables: la cobertura del dosel ($p = 0,003$; AIC = 388,2) y la densidad de árboles ($p = 0,01$; AIC = 267,1; Figura 7). Sin embargo, la respuesta de la riqueza de aves al incremento en la densidad de árboles fue lineal y significativa (Figura 8). A diferencia del mismo modelo para Costa Rica, en Colombia la respuesta no es clara, aunque se mantiene la tendencia de incremento en la riqueza de aves con aumentos en la cobertura del dosel y densidad de árboles.

Los resultados de este estudio indican que en estos agro-paisajes la cobertura es la variable más determinante de

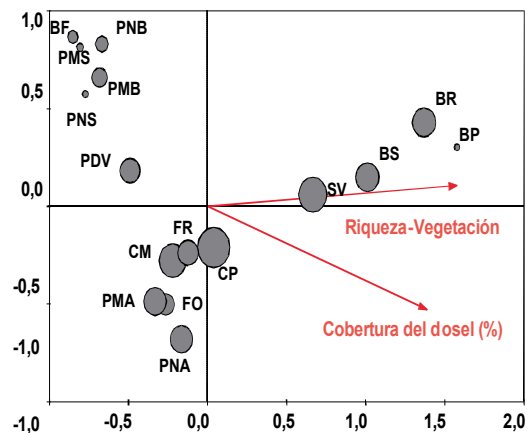


Figura 3. Análisis de correspondencia canónica para datos de aves de Esparza, Costa Rica. Los círculos son los distintos usos del suelo y su tamaño indica la magnitud de la riqueza de aves. Círculos grandes representan mayor riqueza. Las flechas son las variables que explican riqueza de aves. BS = bosque secundario; BR = bosque ripario; SV = sucesión vegetal; CP = cerca viva permanente; CM: cerca viva manejada; BF = banco forrajero; PNA = pastura natural con alta cobertura de árboles; PMA = pastura mejorada con alta cobertura de árboles; PNB = pastura natural con baja cobertura de árboles; PMB = pastura mejorada con baja cobertura de árboles; FR = frutales; FO = plantaciones forestales; PNS = pastura natural sin árboles; PMS = pastura mejorada sin árboles; PDV = pastura degradada con vegetación; SEMI = cultivos semipermanentes (café); SS = sistema silvopastoril; GU = bosques de guadua.

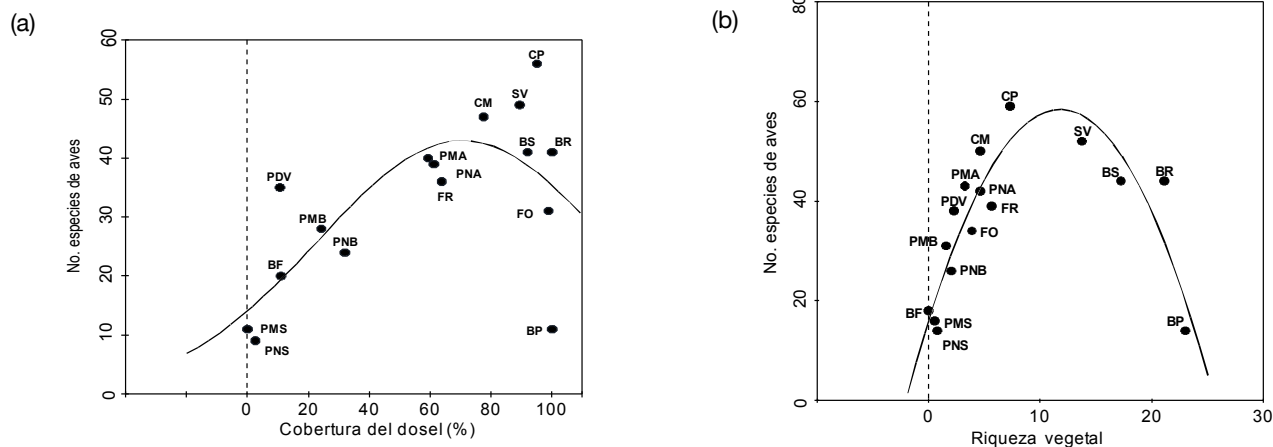


Figura 4. Respuesta de la riqueza de aves a a) cobertura del dosel y b) riqueza de la vegetación en Esparza, Costa Rica. BS = bosque secundario; BR = bosque ripario; SV = sucesión vegetal; CP = cerca viva permanente; CM = cerca viva manejada; BF = banco forrajero; PNA = pastura natural con alta cobertura de árboles; PMA = pastura mejorada con alta cobertura de árboles; PNB = pastura natural con baja cobertura de árboles; PMB = pastura mejorada con baja cobertura de árboles; FR = frutales; FO = plantaciones forestales; PNS = pastura natural sin árboles; PMS = pastura mejorada sin árboles; PDV = pastura degradada con vegetación; SEMI = cultivos semipermanentes (café); SS = sistema silvopastoril; GU = bosques de guadua.

la riqueza de especies de aves. Bishop y Myers (2005) encontraron que el porcentaje de cobertura fue una de las características del hábitat que influyó en la riqueza de gremios de aves en agropaisajes en zonas templadas. Por otro lado, Heikkinen et al. (2004) reportan que el porcentaje de cierre de dosel y el índice horizontal de dap mostraron correlaciones significativas con la riqueza y abundancia de aves. Otra variable no evaluada en este estudio, la heterogeneidad horizontal, es muy relevante,

ya que es posible que el número de nichos y/o el área de hábitat sustentable disponible para las especies de aves de bosque sean maximizados por la heterogeneidad horizontal pero que no está presente en parches abiertos (Sekercioglu 2002). Por tal razón, los remanentes de bosques en agropaisajes pueden ser fundamentales para mantener la avifauna de estos ecosistemas, porque proveen recursos para anidación y forrajeo distintos de las áreas localmente abiertas y homogéneas.

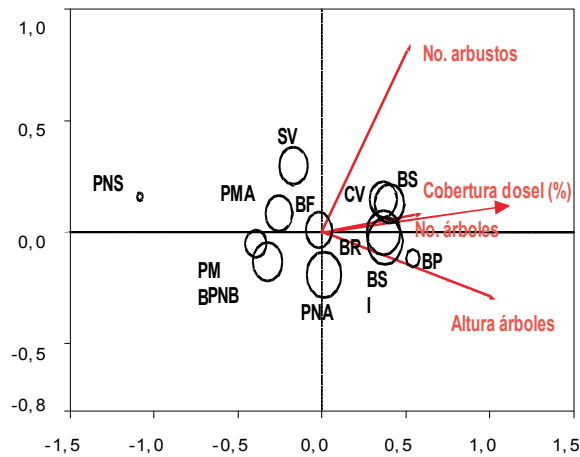


Figura 5. Análisis de correspondencia canónica para datos de aves de Matiguás, Nicaragua. Los círculos son los distintos usos del suelo y su tamaño indica la magnitud de la riqueza de aves. Círculos grandes representan mayor riqueza. Las flechas son las variables que explican riqueza de aves. BS = bosque secundario; BR = bosque ripario; SV = sucesión vegetal; CP = cerca viva permanente; CM = cerca viva manejada; BF = banco forrajero; PNA = pastura natural con alta cobertura de árboles; PMA = pastura mejorada con alta cobertura de árboles; PNB = pastura natural con baja cobertura de árboles; PMB = pastura mejorada con baja cobertura de árboles; FR = frutales; FO = plantaciones forestales; PNS = pastura natural sin árboles; PMS = pastura mejorada sin árboles; PDV = pastura degradada con vegetación; SEMI = cultivos semipermanentes (café); SS = sistema silvopastoril; GU = bosques de guadua.

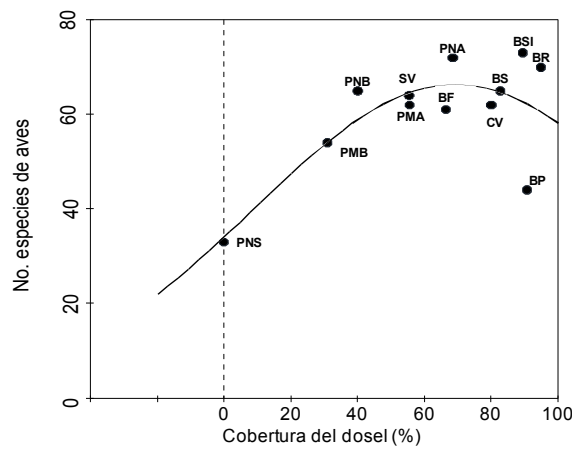


Figura 6. Respuesta de la riqueza de aves a la variable cobertura arbórea del dosel en Matiguás, Nicaragua. BS = bosque secundario; BR = bosque ripario; SV = sucesión vegetal; CP = cerca viva permanente; CM = cerca viva manejada; BF = banco forrajero; PNA = pastura natural con alta cobertura de árboles; PMA = pastura mejorada con alta cobertura de árboles; PNB = pastura natural con baja cobertura de árboles; PMB = pastura mejorada con baja cobertura de árboles; FR = frutales; FO = plantaciones forestales; PNS = pastura natural sin árboles; PMS = pastura mejorada sin árboles; PDV = pastura degradada con vegetación; SEMI = cultivos semipermanentes (café); SS = sistema silvopastoril; GU = bosques de guadua.

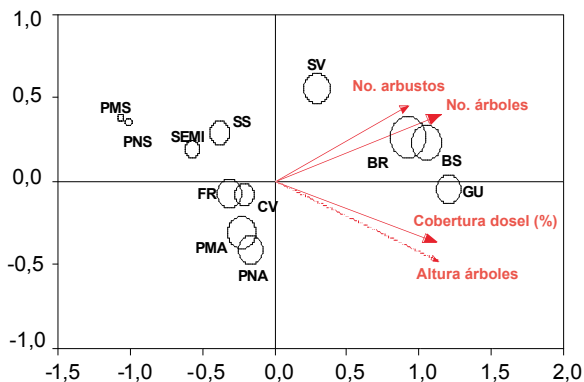


Figura 7. Análisis de correspondencia canónica para datos de aves del Río La Vieja, Colombia. Los círculos son los distintos usos del suelo y su tamaño indica la magnitud de la riqueza de aves. Círculos grandes representan mayor riqueza. Las flechas son las variables que explican riqueza de aves. BS = bosque secundario; BR = bosque ripario; SV = sucesión vegetal; CP = cerca viva permanente; CM = cerca viva manejada; BF = banco forrajero; PNA = pastura natural con alta cobertura de árboles; PMA = pastura mejorada con alta cobertura de árboles; PNB = pastura natural con baja cobertura de árboles; PMB = pastura mejorada con baja cobertura de árboles; FR = frutales; FO = plantaciones forestales; PNS = pastura natural sin árboles; PMS = pastura mejorada sin árboles; PDV = pastura degradada con vegetación; SEMI = cultivos semipermanentes (café); SS = sistema silvopastoril; GU = bosques de guadua.

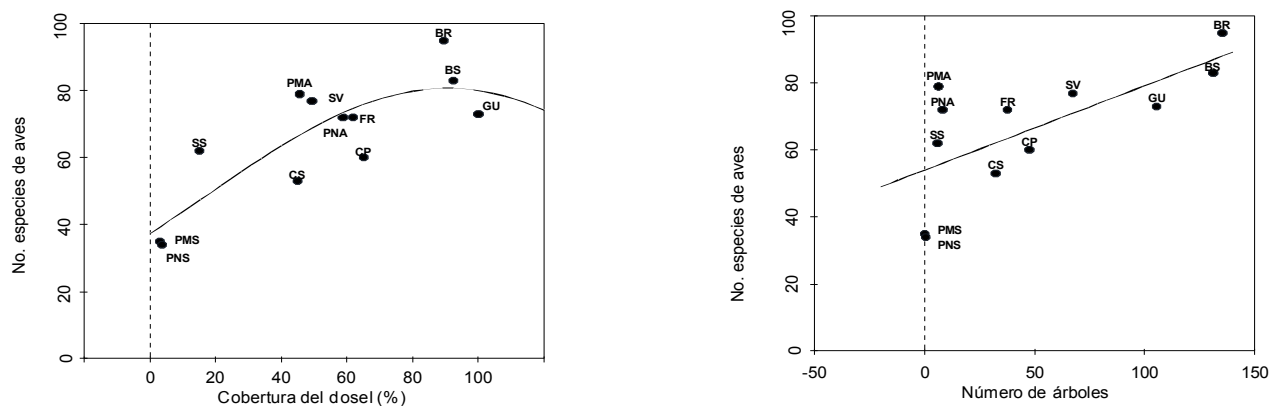


Figura 8. Respuesta de la riqueza de aves a cambios en a) la cobertura del dosel y b) densidad de árboles en río La Vieja, Colombia. BS = bosque secundario; BR = bosque ripario; SV = sucesión vegetal; CP = cerca viva permanente; CM = cerca viva manejada; BF = banco forrajero; PNA = pastura natural con alta cobertura de árboles; PMA = pastura mejorada con alta cobertura de árboles; PNB = pastura natural con baja cobertura de árboles; PMB = pastura mejorada con baja cobertura de árboles; FR = frutales; FO = plantaciones forestales; PNS = pastura natural sin árboles; PMS = pastura mejorada sin árboles; PDV = pastura degradada con vegetación; SEMI = cultivos semipermanentes (café); SS = sistema silvopastoril; GU = bosques de guadua.

El bajo número relativo de especies de aves de bosque encontradas en este estudio puede ser un efecto de la alta heterogeneidad y fragmentación de estos agropaisajes. Dranzoa (1998) señala lo anterior porque las aves dependientes de bosque declinaron en el hábitat altamente heterogéneo, donde los parches de bosque están muy espaciados y con una matriz homogénea (ejemplo, pastos), ocasionando que las aves de bosque eviten viajar entre parches muy separados. Por esta razón, los sistemas silvopastoriles pueden aumentar la conectividad

en estos agropaisajes. El uso de una matriz silvopastoril puede compensar en alguna medida los efectos de la fragmentación, brindando recursos y funciones como alimento, anidación, movimiento de las aves y disminuyendo el riesgo de depredación.

CONCLUSIONES

Los ecosistemas manejados por los seres humanos guardan una cantidad importante de la avifauna original. También es evidente que algunos usos del suelo

creados y manejados por los productores (cercas vivas, pasturas arboladas y frutales) están cumpliendo un papel importante en el mantenimiento de la comunidad de aves. Esto sugiere que hay que conducir estudios más detallados que nos permitan conocer por qué las aves usan estas coberturas arbóreas creadas por el ser humano.



Pinzón piquinaranja (*Arremon aurantirostris*) en Esparza, Costa Rica (foto: Joel Sáenz)

AGRADECIMIENTOS

A Carolina Orozco por apoyo en el manejo de base de datos, Marco Otárola por la identificación de especies de árboles, J.P. Carvajal y R. Menacho por el apoyo en la recolección de datos y por los datos de aves durante la primera etapa del proyecto. A American Bird Conservation por financiar la investigación a través de los fondos del Global Environmental Fund (GEF). Al Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre de la Universidad Nacional, Costa Rica, por el apoyo logístico y académico.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Bishop, JA; Myers, WL. 2005. Associations between avian functional guild response and regional landscape properties for conservation planning. *Ecological Indicators* 5:33-48.
- Cárdenas, G; Harvey, C; Ibrahim, M; Finegan, B. 2003. Diversidad y riqueza de aves en diferentes hábitats en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10: (39-40): 78-85.
- Chinchilla, E. 1987. Atlas Cantonal de Costa Rica. Instituto de Fomento y Asesoría Mpal, IFAm, 1 ed. San José, CR, Imprenta Nacional de Costa Rica. 392 p.
- Chiple, R; Wallace, G; Naranjo, LG. 2003. Manual para el Monitoreo de Biodiversidad. Washington, DC, American Bird Conservancy. 42 p.
- Daily, GC; Ehrlich, PR; Sánchez-Azofeifa, GA. 2001. Countryside biogeography: utilization of human-dominated habitats by the avifauna of southern Costa Rica. *Ecol. Applications* 11: 1-13.
- Dranzo, C. 1998. The avifauna 23 years after logging in Kibale National Park, Uganda. *Biodiversity and Conservation* 7: 777-797.
- Enríquez, M. 2005. Impacto de la cobertura arbórea sobre las comunidades de aves en un agropaisaje del Pacífico Central de Costa Rica. Tesis de Maestría. Heredia, CR, Universidad Nacional, Instituto Internacional en Manejo y Conservación de Vida Silvestre. 118 p.
- Heikkinen, RK; Luoto, M; Virkkala, R; Rainio, K. 2004. Effects of habitat cover, landscape structure and spatial variables on the abundance of birds in an agricultural-forest mosaic. *Journal of Applied Ecology* 41: 824-835.
- Hilty, SL; Brown, WL. 2001. Guía de las Aves de Colombia. Traducción Álvarez-López, H. Cali, CO, American Bird Conservancy. 467 p.
- INIFOM (Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal, NI). 2006. Caracterizaciones. Consultado 26 jun 2006. Disponible en <http://www.inifom.gob.ni/>
- Kattan, G; Hernández, OL; Rojas, V; Trujillo, A; Murcia, C. 2002. Diseño de un sistema regional de áreas protegidas para el Eje Cafetero - SIRAP- Informe Final Campaña 1: Análisis de Representatividad. Fundación EcoAndina/Programa de Wildlife Conservation Society, World Wildlife Fund-Colombia. 80 p.
- Lang, I; Gormley, LHL; Harvey, CA; Sinclair, FL. 2003. Composición de la comunidad de aves en cercas vivas de Río Frío, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40): 86-92.
- Lawton, JH; May, RM. 1995. *Extinction Rates*. Oxford, UK, Oxford University. 127 p.
- Martínez-Morales, MA. 2005. Landscape patterns influencing bird assemblages in a fragmented neotropical cloud forest. *Biological Conservation* 121: 117-126
- McCane, B; Mefford, MJ. 1999. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecology Data, Version 4. Estados Unidos, MjM Software Design. 237 p.
- Murgueitio, E; Ibrahim, M; Ramírez, E; Zapata, A; Mejía, CE; Casasola, F. 2003. Usos de la tierra en fincas ganaderas: Guía para el pago de servicios ambientales en el proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas. Fundación CIPAV, CATIE, UCA-NITLAPAN. Medellín, CO, Apotema. 97 p.
- Obando, V. 2002. Biodiversidad en Costa Rica - Estado del conocimiento y gestión. 1 ed. Santo Domingo de Heredia, CR, Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) y Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). 250 p.
- Petit, DR; Lynch, JF; Hutto, RL; Blake, JG; Waide, RB. 1995. Habitat use and conservation in the Neotropics. In Martin, TE; Finch, DM. eds. *Ecology and management of Neotropical migratory birds: a synthesis and review of critical issues*. Nueva York, Oxford University Press. p. 145-197.
- Piper, SC; Catterall, CP. 2003. A particular case and a general pattern: hyper-aggressive behaviour by one species may mediate avifaunal decreases in fragmented Australian forests. *Oikos* 101: 602-624.
- Reynolds, RT; Scott, JM; Nussbaum, RA. 1980. A variable circular-plot method for estimating bird numbers. *Condor* 82: 309-313.
- Schemske, DW; Brokaw, N. 1981. Treefalls and the distribution of understory birds in a tropical forest. *Ecology* 62: 938-945.
- Sekercioglu, C. 2002. Effects of forestry practices on vegetation structure and bird community of Kibale National Park, Uganda. *Biological Conservation* 107: 229-240.

- Silva, JMC; Uhl, C; Murray, G. 1996. Plant succession, landscape management, and the ecology of frugivorous birds in abandoned amazonian pastures. *Conservation Biology* 10: 491-503.
- Somers, CM; Morris, RD. 2002. Birds and wine grapes: foraging activity causes small-scale damage patterns in single vineyards. *Journal of Applied Ecology* 39: 511-523.
- Sokal, R; Rohlf, J. 1995. *Biometry*. Nueva York, W.H. Freeman and Company. 887 p.
- Stiles, FG. 1985. Conservation of forest birds in Costa Rica: problems and perspectives. *In* Diamond, AW; Lovejoy, TE. eds. *Conservation of Tropical Forest Birds*. International Council for Bird Preservation. Norwich, Page Bros. p. 141-168. (Technical Publication No. 4).
- Stiles, G; Skutch, A. 2003. *Gruía de aves de Costa Rica*. Trad. L. Roselli. 3 ed. Sto. Domingo de Heredia, CR, INBIO. 680 p.
- Ter Braak, CJF; Smilauer, P. 2002. *CANOCO Reference Manual and Software for Canonical Community Ordination (Version 4.5)*. Wageningen, NE, Wageningen University and Research Centre. 499 p.
- Vílchez, S; Harvey, C; Sánchez, D; Medina, A; Hernández, B. 2004. Diversidad de aves en un paisaje fragmentado de bosque seco en Rivas, Nicaragua. *Encuentro* 68:24-48.