

Selección de diferentes sistemas de producción de cacao (*Theobroma cacao*, Malvaceae) por aves en Alto Beni, Bolivia - una prueba de cafetería en el campo

Selection of different cacao (*Theobroma cacao*, Malvaceae) production
systems by birds in Alto Beni, Bolivia - a cafeteria experiment in the field

Kazuya Naoki^{1*}, M. Isabel Gómez² & Monika Schneider³

¹Centro de Análisis Espacial, Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, Calle 27 Cota Cota, La Paz, Bolivia. *Autor de correspondencia: knaoki@fcpn.edu.bo

²Colección Boliviana de Fauna - Museo Nacional de Historia Natural, Calle 26 Cota Cota, La Paz, Bolivia

³Instituto de Investigaciones de Agricultura Orgánica (FiBL), Ackerstrasse, CH-5070 Frick, Suiza

Resumen

El cacao (*Theobroma cacao*, Malvaceae) es una especie nativa de Sudamérica, y se considera que su cultivo cumple un rol importante para la conservación de biodiversidad. Se estudió la selección de aves entre cinco sistemas de producción de cacao y barbecho, a través de una prueba de cafetería en Alto Beni, Bolivia. Las aves fueron cuantificadas por medio del conteo de punto modificado durante la época seca. Se registraron 239 visitas de 43 especies de aves pertenecientes a 18 familias. El número de especies y la frecuencia de visitas de las aves estuvieron relacionadas positivamente con la complejidad de la estructura vegetal y la diversidad de árboles, disminuyendo desde el barbecho, el sistema agroforestal sucesional (SAFS), los sistemas agroforestales, hasta los monocultivos ($\beta_1 = -0.149 \pm 0.046$ para el número de especies, $r_1 = -0.167 \pm 0.078$ para la frecuencia de visitas). En los monocultivos se registró la mitad del número de especies observadas en las parcelas de barbecho. En los cultivos convencionales la frecuencia de visitas de aves disminuyó hasta un 37-46% de la frecuencia observada en las parcelas de barbecho. Se observó una mayor similitud en la composición de aves entre el SAFS y el barbecho, sugiriendo que el SAFS, al tener una estructura vegetal diversa, alberga recursos más similares al barbecho. Es importante incentivar los sistemas agroforestales complejos de cacao para la conservación de las aves en los paisajes agrícolas.

Palabras clave: Alto Beni, Cacao, Comparación de sistemas de producción agrícola, Selección de hábitats de aves, Sistema agroforestal sucesional.

Abstract

The cacao (*Theobroma cacao*, Malvaceae) is a native species to South America, and its plantation is considered to play an important role in the conservation of biodiversity. We studied the birds' selection among five cacao production systems and fallow, using a cafeteria experiment in Alto Beni, Bolivia. The birds were quantified by a modified point count during the dry season. During the study we recorded 239 visits of 43 bird species belonging to 18 families. The number of species and the frequency of birds' visits were positively related to the complexity of vegetation structure and tree diversity, decreasing from fallow, successional agroforestry system (SAFS), agroforestry systems to monoculture plantations ($r = -0.149 \pm 0.046$ for the number of species,

$\beta_1 = -0.167 \pm 0.078$ for the frequency of visits). In the monocultures the number of species was reduced to the half of that found in the fallow plots. In conventional plots, the frequency of birds' visits decreased to 37-46% of that observed in the fallow plots. The bird composition was similar between the SAFS and the fallow, suggesting that the SAFS, having a diverse vegetation structure, provides resources similar to the fallow. It is important to encourage complex cacao agroforestry systems for the bird conservation in agricultural landscapes.

Keywords: Alto Beni, Birds' habitat selection, Cacao, Comparison of agricultural production systems, Successional agroforestry system.

Introducción

En los trópicos, la expansión agrícola es la principal causa de la deforestación y la degradación del hábitat (Achard *et al.* 2002). Esta conversión de la vegetación natural para el aprovechamiento humano ha tenido diversas consecuencias en la biodiversidad nativa. Como los efectos de los diferentes tipos de agricultura son sumamente variables, algunos sistemas de cultivos causan impactos negativos a la biodiversidad y otros siguen cumpliendo cierto rol para la conservación de las especies del bosque (Hughes *et al.* 2002, Estrada & Coates-Estrada 2005).

El cacao (*Theobroma cacao*, Malvaceae) es una especie forestal que se originó en el sotobosque del bosque tropical húmedo de la Amazonia y fue diseminado por el hombre (Motamayor *et al.* 2008) siendo domesticada hace aproximadamente 3.000 años (Henderson *et al.* 2007). Actualmente, se encuentran 95.417 km² de plantaciones de cacao a nivel mundial, siendo uno de los cultivos comerciales más importantes en África occidental, sudeste de Asia, Centro y Sudamérica (en 2010, FAOSTAT 2012). El cacao es cultivado por pequeños productores que dependen principalmente de la mano de obra familiar en muchos países del trópico húmedo (Clough *et al.* 2009). En Bolivia, la mayor producción de cacao se realiza en fincas familiares utilizando las variedades comerciales, aunque también se sigue practicando localmente la extracción de frutos de cacao de árboles silvestres (Bazoberry & Salazar 2008).

En general, los cultivos de cacao se consideran hábitats aptos para muchas especies de vida silvestre; sin embargo, diferentes grupos de animales y plantas reaccionan de manera distinta a las características del hábitat (Kessler *et al.* 2009). En Indonesia el 45-60% de las aves especialistas de bosque y 65-71% de las aves generalistas se encontraron en las plantaciones de cacao que tenían árboles forestales nativos, encontrándose una reducción a nivel de gremios de las aves nectarívoras y frugívoras (Abrahamczyk *et al.* 2008, Clough *et al.* 2009). En Brasil, las plantaciones de cacao con sombra mantuvieron la riqueza y abundancia de aves de manera similar que en el bosque; sin embargo, el grado de fragmentación y la configuración paisajista contribuyeron a un cambio en la composición de la avifauna, y se observó una reducción de las aves insectívoras de sotobosque y de las aves frugívoras; y en un incremento de las aves granívoras, omnívoras y nectarívoras que habitan en el borde del bosque (Faria *et al.* 2006, Faria *et al.* 2007). En Panamá, las aves insectívoras de sotobosque fueron más sensibles al cambio de hábitat; sin embargo, las migratorias boreales o neotropicales permanecieron en los cultivos de cacao (Van Bael *et al.* 2007).

La mayoría de los anteriores estudios compararon las comunidades de aves entre los bosques naturales y las plantaciones de cacao bien establecidas (p.e. Faria *et al.* 2007, Van Bael *et al.* 2007); además, estos estudios generalmente distinguieron solo dos sistemas de cultivos de cacao: el cultivo de

cacao sin sombra (Technified Cacao en Rice & Greenberg 2000) y el cultivo de cacao con sombra (Rustic Cacao o Planted Shade en Rice & Greenberg 2000). Se conoce que además del sistema de cultivo de cacao, también hay otras variables que influyen en las comunidades de aves, como la distancia del sistema agroforestal al margen del bosque (Reitsma *et al.* 2001, Faria *et al.* 2006, Clough *et al.* 2009), el grado de fragmentación del bosque natural (Faria *et al.* 2007), la edad del cultivo después del establecimiento y la humedad del bosque (Van Bael *et al.* 2007). Estas variables tienden a estar correlacionadas con las variables que caracterizan al sistema de cultivos de cacao, como el número de especies de árboles nativos y la densidad de árboles que ocupan el dosel (Clough *et al.* 2009); por tanto, no es fácil separar estas variables intervinientes en los estudios no controlados en base a observaciones. Nuestro estudio es el primero en evaluar la importancia de cinco sistemas de producción de cacao para las aves a través de una prueba de cafetería, el cual nos permite excluir las variables intervinientes mencionadas. Además, la comparación incluye el sistema agroforestal sucesional, el cual es un tipo de cacao más complejo con mayor número de especies de árboles acompañantes y más niveles de estratos, y que durante el establecimiento imita la sucesión natural del bosque. Las aves de este sistema no han sido evaluadas en ningún estudio previamente.

Área de estudio

El trabajo de campo se llevó a cabo en un ensayo de "Comparación de sistemas de producción de cacao a largo plazo" en la localidad de Sara Ana, en la región Alto Beni del depto. La Paz, Bolivia (15°27'36"S - 67°28'17"O, 400 m) entre el 23 y el 29 de julio de 2011. La temperatura media anual es de $25.2 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y la precipitación anual de 1.441 ± 243 mm para Sapecho, que está

ubicado a 19 km SE de Sara Ana (SENAMHI 2012). La época seca se extiende desde mayo hasta septiembre, cuando llueve menos de 100 mm por mes. El ensayo fue establecido el año 2008 después de un cultivo de maíz (*Zea mays*, Poaceae) con una cobertura de suelo (*Canavalia ensiformis*, Fabaceae). El ensayo compara seis tratamientos: (1) Barbecho (BAR), (2) sistema agroforestal sucesional (SAFS), (3) agroforestal orgánico (AO), (4) agroforestal convencional (AC), (5) monocultivo orgánico sin sombra permanente (MO) y (6) monocultivo convencional sin sombra permanente (MC) con un diseño de bloques aleatorizados (Figs. 1-2). Se instalaron 24 parcelas de 48 x 48 m (2.304 m²), las cuales fueron repartidas en cuatro bloques (repeticiones) de seis parcelas (Fig. 1), y en cada bloque se asignó cada parcela a uno de los seis tratamientos de manera aleatoria.

El monocultivo con manejo convencional es el sistema de cultivo más utilizado a nivel mundial y está caracterizado por la aplicación de fertilizantes químicos, herbicidas, insecticidas y fungicidas; por lo tanto, su estructura vegetal es la más simple y no presenta vegetación herbácea en el estrato bajo ni hay árboles de otras especies en el dosel (Schneider & Seidel 2010). El monocultivo con manejo orgánico es el monocultivo de cacao sin aplicación de agroquímicos. Se utiliza una cobertura de la leguminosa soya perenne (*Glycine javanica*, Fabaceae), y se realiza el deshierbe manual para el control de malezas en el estrato bajo. Se aplica abono orgánico, compost, para la fertilización y productos de biocontrol autorizados para el control de plagas. Durante la fase de establecimiento (tres primeros años) se asoció al plátano (*Musa spp.*, Musaceae) con la misma densidad del cacao. En el momento de este estudio, los monocultivos tenían plantas de plátano de ca. 5 m de altura que ofrecían una sombra temporal para las plantas juveniles de cacao de 2-3 m de altura (Fig. 2a-b). El sistema agroforestal convencional

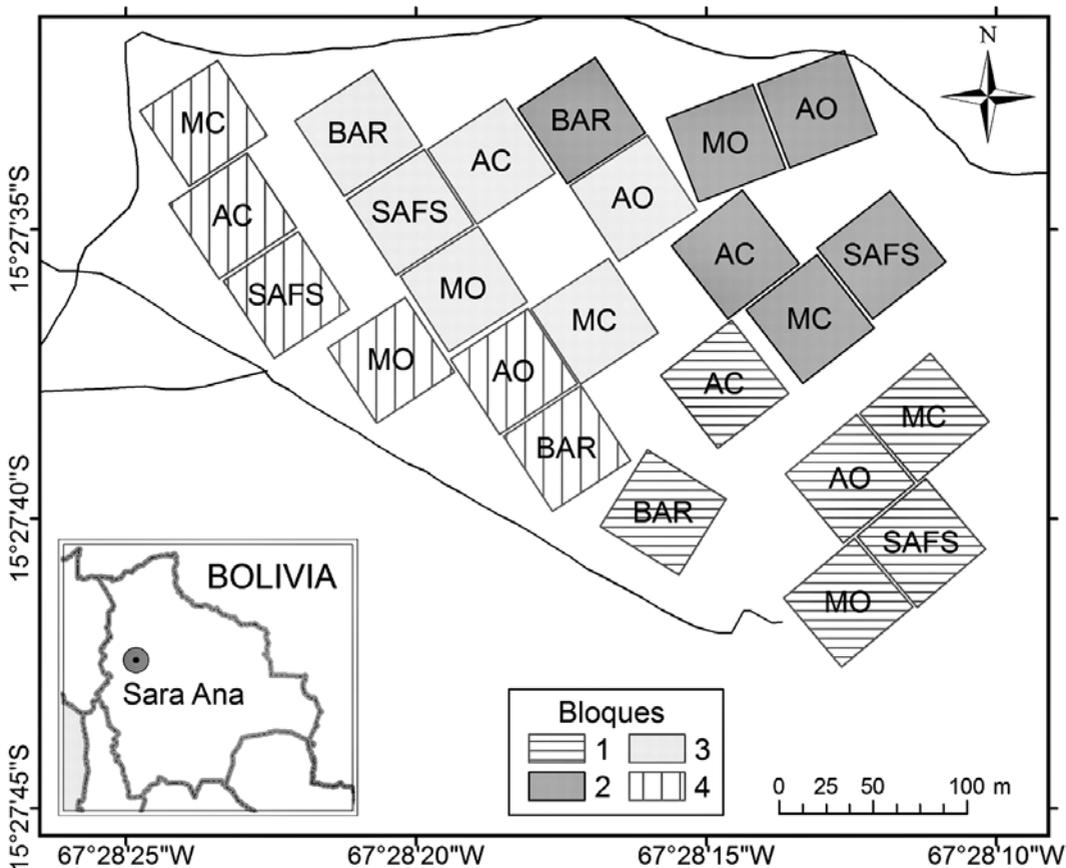


Figura 1. Mapa del ensayo de "Comparación de sistemas de producción de cacao a largo plazo" en Sara Ana, Depto. La Paz, Bolivia (15°27'36"S - 67°28'17"O, 400 m). Abreviaciones: BAR: Barbecho, SAFS: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional.

difiere del monocultivo convencional por poseer una sombra permanente de especies agroforestales como leguminosas, maderables y frutales. Se utilizan agroquímicos en menor dosis que en el monocultivo convencional. El agroforestal orgánico difiere del agroforestal convencional por no aplicar agroquímicos, se utiliza abono orgánico y productos de biocontrol autorizados. En el momento del estudio, en los sistemas agroforestales, se encontraron árboles forestales de hasta 10 m de altura, formando un dosel abierto,

bajo el cual, crecieron los árboles de cacao y otra vegetación como subdosel (Fig. 2c-d). El sistema agroforestal sucesional (SAFS) es un sistema agroforestal de cacao, en el cual se trató de simular el proceso de la sucesión natural, sembrando varias especies de plantas de ciclo de vida corta (hibisco, yuca, arroz, chicharilla, piña) en la fase inicial y después diversas especies de árboles agroforestales según el crecimiento del cacao. Estas plantas producen una gran cantidad de materia orgánica, que sirve como abono orgánico. No



a. Monocultivo convencional (MC)



b. Monocultivo orgánico (MO)



c. Agroforestal convencional (AC)



d. Agroforestal orgánico (AO)



e. Sistema agroforestal sucesional (SAFS)



f. Barbecho (BAR)

Figura 2. Barbecho y cinco sistemas de producción de cacao que se encuentran en el ensayo de Sara Ana, Depto. La Paz, Bolivia. (Fotografías de K. Naoki)

se aplican ni agroquímicos ni productos de biocontrol. Se realiza el deshierbe selectivo y podas del dosel para satisfacer las necesidades del cacao respecto a la luz. En el momento del estudio, en los sistemas agroforestales sucesionales, se encontraban árboles de hasta 15 m de altura, formando un dosel más cerrado que en los sistemas agroforestales. Bajo este dosel crecieron árboles de diferentes tamaños, formando varias capas en estratos intermedios a manera de subdosel (Fig. 2e). Finalmente, las parcelas de barbecho se dejaron sin ningún manejo después de la cosecha del maíz y la plantación del plátano. Los árboles pioneros de la zona como *Cecropia* sp. (Cecropiaceae) alcanzaron hasta 20 m de altura, y el sotobosque era muy denso dentro de las parcelas (Fig. 2f).

Métodos

Selección de aves entre diferentes sistemas de producción de cacao

La lista de especies de aves y su frecuencia de visitas en cada parcela experimental de cacao fue elaborada a través de observaciones directas con binoculares de 10 x 40. Se realizaron cuatro visitas: cada parcela fue visitada dos veces por la mañana y dos veces por la tarde; y dos veces por cada uno de los dos primeros autores (KN y MIG). El orden de visita a las parcelas fue alterado para evitar un sesgo de observación. Durante la visita, un observador caminó lentamente desde el borde hasta el centro de la parcela durante un minuto, permaneció en el centro de la parcela durante cinco minutos, y luego salió de la parcela caminando lentamente durante un minuto. Así, la observación duró un total de siete minutos en cada parcela. Durante estos siete minutos fueron registradas todas las aves perchadas sobre la vegetación o el suelo dentro de la parcela con la siguiente información: la especie, el número de individuos y la hora de la observación.

Como la duración de cada conteo fue corto, hubo pocas ocasiones que un mismo individuo fuera observado más de una vez en la parcela durante una visita. Se tuvo cuidado en seguir cada registro dentro de la parcela para evitar el doble conteo. La frecuencia de visitas en cada parcela fue calculada como la media del número de individuos observados durante las cuatro visitas. Cada parcela experimental de cacao tiene un área de 0.23 ha y todo el ensayo un área ca. 7 ha, el cual es parecido al área del territorio de una pareja de aves paserinas en la Amazonia (4 - 5 ha en Terborgh *et al.* 1990). Por tanto, se asume que el territorio de una pareja contiene varias parcelas experimentales y probablemente todo o parte del ensayo y sus alrededores. Las aves percibirían dentro de su territorio un mosaico de varios tipos de hábitats representados por los diferentes sistemas de producción de cacao y seleccionarían algunas parcelas para alimentarse, descansar o anidar según los recursos y microhábitats disponibles. Este diseño de estudio es un tipo de prueba de cafetería en el campo, ya que ofrece un rango de hábitats igualmente disponibles a varias especies de aves y cuantifica cuál escoge cada especie. Así, la variación del número de especies y la frecuencia de aves registradas entre los diferentes sistemas de producción de cacao en este estudio no representa la variación de la comunidad de aves como en otros estudios, sino está asociada con la variación del número de especies de aves que prefieren diferentes sistemas de producción de cacao.

Análisis estadístico

Para revisar si existe una diferencia del registro de aves entre investigadores, dos investigadores (KN y MIG) visitaron 11 parcelas simultáneamente y cuantificaron aves individualmente. Se calculó el índice de similitud de Morisita-Horn:

$$C_H = \frac{2 \sum_i^n p_{ij} p_{ik}}{\sum_i^n p_{ij}^2 + \sum_i^n p_{ik}^2}$$

donde p_{ij} = proporción de especie i registrado por observador j , p_{ik} = proporción de especie i registrado por observador k , n = número total de parcelas cuantificadas por ambos observadores, para cuantificar el grado de similitud de estas observaciones, y se utilizó la prueba de Wilcoxon para comparar el número de especies y el número de visitas observados entre los dos observadores. Para evaluar el efecto de los sistemas de producción de cacao al número de especies y la frecuencia de visitas de aves, se aplicó el modelo lineal generalizado (MLG). En el MLG, el número de especies y la frecuencia de visita fueron tratados como una variable de respuesta con la distribución Poisson y la función de enlace logarítmica, y el sistema de producción de cacao como una variable independiente ordinal según la complejidad estructural de la vegetación, (1) barbecho, (2) agroforestal sucesional (SAFS), (3) agroforestal orgánico, (4) agroforestal convencional, (5) monocultivo orgánico, (6) monocultivo convencional, con cuatro replicas para cada nivel de complejidad, y el bloque de parcelas como la segunda variable independiente categórica con efecto aleatorio. Como la distancia entre las parcelas experimentales de cacao es corta (menos de 100 m entre los centros de las parcelas adyacentes) para considerarse como independientes (Ralph *et al.* 1995, Bibby *et al.* 2000), no se permite usar la distribución de probabilidad típica como F o t para calcular el valor de P . Para superar este problema, se aplicó el análisis de Monte Carlo, donde se utiliza la permutación de los datos observados para generar la distribución nula del estadístico (Gotelli & Ellison 2004). En este estudio, se realizaron 10.000 permutaciones de los datos observados para generar la distribución nula de las devianzas

de dos variables, el sistema de producción de cacao y el bloque de parcelas. Los valores de las devianzas observadas fueron comparados con la distribución nula para estimar los valores de P para cada variable (el script de R está disponible desde el primer autor).

Para comparar la composición de aves registrada entre los diferentes sistemas de producción de cacao, se utilizó el análisis de correspondencia rectificada (DCA en inglés) y el análisis de varianza (ANOVA en inglés) con los valores de los primeros dos ejes del DCA. Los valores de P en el ANOVA fueron estimados por la permutación de datos observados como se menciona arriba. En este análisis, se elaboraron las distribuciones nulas del valor de F para la variable, el sistema de producción de cacao. Todos los análisis fueron realizados con el programa R versión 3.3.3 (R Core Team 2016) utilizando el paquete *vegan* (Oksanen *et al.* 2017) para el cálculo de los índices de diversidad y de similitud, y el DCA, y el paquete *permute* (Simpson 2016) para el análisis de Monte Carlo.

Resultados

Durante el estudio, se registraron 239 visitas de 43 especies de aves pertenecientes a 18 familias en las parcelas del ensayo (Anexo 1). La composición de aves observadas entre los dos investigadores (KN, MIG) fueron suficientemente similares (índice de similitud de Morisita-Horn: Media \pm DE = 0.89 ± 0.12 , $N = 11$ parcelas) y el número de especies y el número de visitas observados no fueron diferentes entre los investigadores (prueba de Wilcoxon: $T = 32$, $N = 11$, $P = 0.71$ para el número de especies, $T = 24.5$, $N = 11$, $P = 0.26$ para el número de visitas). Por tanto, los datos tomados por los investigadores se juntaron para los subsiguientes análisis.

Los diferentes sistemas de producción de cacao afectaron al número de especies que visitaron cada parcela y a la frecuencia de visitas (Fig. 3. $\beta_1 = -0.149 \pm 0.046$, $P = 0.017$

para el número de especies, Fig. 4. $\beta_1 = -0.167 \pm 0.078$, $P = 0.011$ para la frecuencia de visitas): a mayor complejidad en la estructura vegetal del sistema de producción de cacao, se observó mayor número de especies y frecuencia de visitas de aves (Figs. 3-4). En los monocultivos se encontró la mitad del número de especies observadas en las parcelas de barbecho (Anexo 1). En los cultivos convencionales la frecuencia de visitas de aves disminuyó hasta un 37-46% de la frecuencia observada en las parcelas de barbecho (Anexo 1). En ambos análisis, no se observó el efecto de bloques de parcelas ($P = 0.206$ para el número de especies y $P = 0.196$ para la frecuencia de visitas de aves respectivamente). El análisis de correspondencia rectificado (DCA) mostró que todas las parcelas de barbecho y algunas parcelas de los sistemas agroforestales sucesionales agruparon con los valores de DCA1 positivos (Fig. 5). Ambos hábitats

compartieron especies de aves de tamaño corporal mediano (*Ortalis guttata*, Cracidae), picaflors (*Phaethornis* spp., *Amazilia lactea*, Trochilidae) y especies de bosque que requieren árboles altos donde puedan perchar (*Monasa nigrifrons*, Bucconidae; *Cyclarhis gujanensis*, *Vireo olivaceus*, Vireonidae), las cuales se observaron raras veces en los otros hábitats (Fig. 5, Anexo 1). Los otros sistemas de producción de cacao: agroforestal vs monocultivo, y orgánico vs convencional, no mostraron un patrón claro. La composición de la avifauna en el DCA1 de barbecho fue diferente a todos los cultivos de cacao, excepto al sistema agroforestal sucesional (ANOVA: $P = 0.0018$; Post-hoc de Tukey: BAR-SAFS $P = 0.0754$, BAR-los otros tipos de cultivos $P < 0.01$, otras parejas $P > 0.15$); sin embargo, no se observó una variación en el DCA2 entre los diferentes sistemas de producción de cacao ($P = 0.401$).

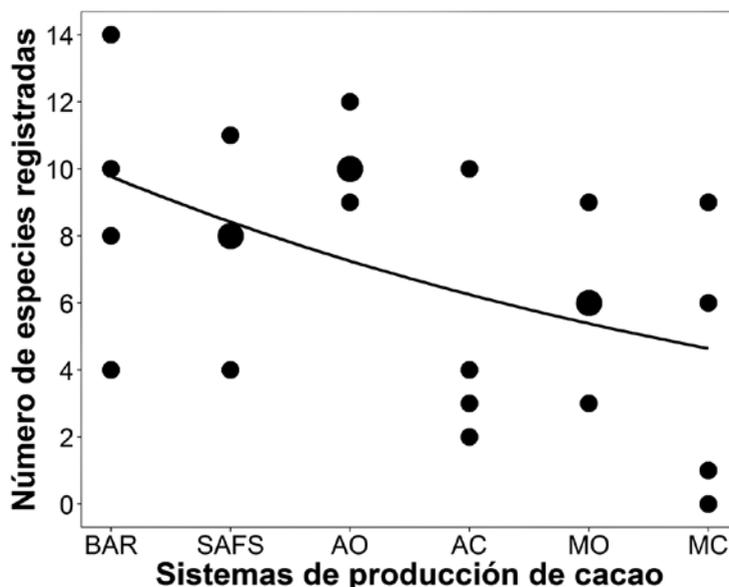


Figura 3. Relación entre el número de especies y el sistema de producción de cacao. Cada punto indica el número de especies registradas en cada parcela durante cuatro conteos. Los puntos de mayor tamaño indican que fue observado el mismo número de especies en dos parcelas. La línea indica la relación entre la complejidad de sistemas de producción de cacao y el número de especies registradas, y sus parámetros fueron estimados por máxima verosimilitud. Ver la figura 1 para las abreviaciones.

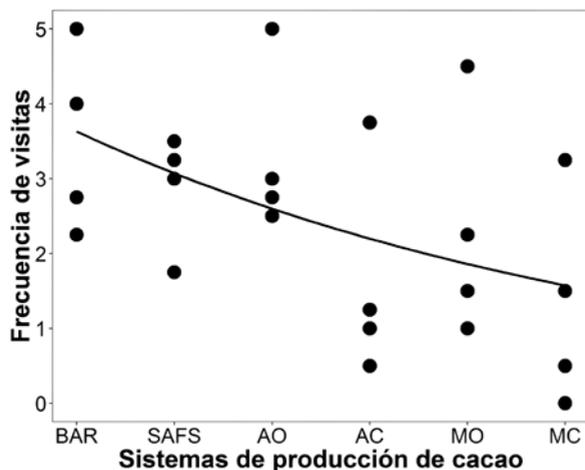


Figura 4. Relación entre la frecuencia de visitas de aves y el sistema de producción de cacao. Cada punto indica el promedio del número de individuos registrados en cada parcela durante un conteo. La línea indica la relación entre la complejidad de los sistemas de producción de cacao y el número de especies registradas, y sus parámetros fueron estimados por máxima verosimilitud. Ver la figura 1 para las abreviaciones.

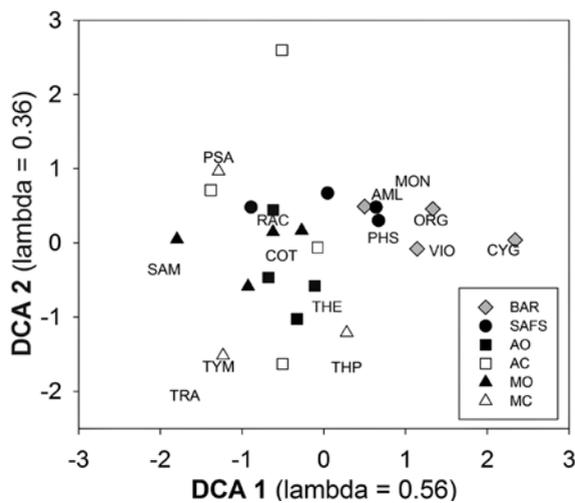


Figura 5. Análisis de correspondencia rectificadas (DCA) para comparar la composición de aves registradas entre diferentes sistemas de producción de cacao. Cada punto indica la posición relativa de cada parcela según la composición de aves registrada durante cuatro conteos. Ver la figura 1 para las abreviaciones de tipos de parcelas. Abreviaciones de especies de aves: AML = *Amazilia lactea*, COT = *Columbina talpacoti*, CYG = *Cyclarhis gujanensis*, MON = *Monasa nigrifrons*, ORG = *Ortalis guttata*, PHS = *Phaethornis stuarti*, PSA = *Psarocolius angustifrons*, RAC = *Ramphocelus carbo*, SAM = *Saltator maximus*, THE = *Thraupis episcopus*, THP = *Thraupis palmarum*, TRA = *Troglodytes aedon*, TYM = *Tyrannus melancholicus* y VIO = *Vireo olivaceus*.

Discusión

Nuestros resultados mostraron que un mayor número de especies prefieren los sistemas de producción de cacao con mayor complejidad estructural y con mayor cantidad de especies de árboles acompañantes: el número de especies y la frecuencia de visitas de aves disminuyen desde el barbecho, el sistema agroforestal sucesional, los sistemas agroforestales hasta los monocultivos de cacao, todos de la misma edad (tercer año de crecimiento). Se esperaría que este patrón de selección de hábitat que encontramos a nivel de los individuos también se encuentre a nivel de comunidades, resultando que los cultivos con mayor complejidad alberguen una comunidad de aves con mayor riqueza de especies.

Este patrón de la reducción del número de especies y la abundancia de aves desde la vegetación natural al sistema de cultivo de cacao más simple fue observado en varios estudios (Faria *et al.* 2006, Van Bael *et al.* 2007, Abrahamczyk *et al.* 2008, Clough *et al.* 2009). Este cambio fue considerado como una consecuencia de la reducción de la calidad del hábitat asociada a una mayor modificación del bosque natural, especialmente por el uso intensivo de los árboles de dosel y la reducción del número de especies de árboles nativos (Greenberg *et al.* 1997, Cruz-Angon & Greenberg 2005). Los sistemas agroforestales parecen atraer más a las aves que los monocultivos porque mantienen una estructura más compleja y porque utilizan una mayor diversidad de árboles como sombra (Van Bael *et al.* 2007). Además, un alto número de especies de árboles de sombra mantiene niveles de diversidad de aves sustancialmente más altos y en todos los grupos funcionales relevantes (Clough *et al.* 2009).

La frecuencia de visitas y el número de especies de aves en el barbecho y el sistema agroforestal sucesional fueron parecidos entre sí y se distinguieron de la avifauna encontrada en otros sistemas de producción de cacao en el

área de estudio. Ambos compartieron varias especies de aves que probablemente requieren cierto recurso o una estructura vegetal que no se encuentra en otros sistemas. Por ejemplo, varias especies de picaflores fueron frecuentemente observadas en las parcelas del SAFS forrajeando en las flores de piñas y *Heliconia* spp. (Heliconiaceae) sembradas en el estrato bajo. Estas aves nectarívoras son raras en otros sistemas de cacao como los monocultivos probablemente por la falta de flores. Varios estudios encontraron que las aves insectívoras del sotobosque son más sensibles a los cambios del hábitat y tienden a desaparecer más fácilmente que las aves granívoras y omnívoras que habitan en el dosel y en bordes de bosque (Van Bael *et al.* 2007). En nuestro estudio se confirmó este patrón con la ausencia de aves insectívoras de sotobosque en todo el ensayo, incluyendo en el barbecho, a pesar que se encuentran estas especies en el bosque primario cercano al ensayo (Vargas M. *et al.* 2010). El barbecho de tres años todavía carece de las especies de árboles típicos de bosque maduro, el número de especies de árboles es reducido, los árboles son delgados y bajos, y la estructura vertical es simple. Probablemente el barbecho no posee los recursos necesarios para estas especies de aves. Aunque varios estudios anteriores realizaron la comparación de la avifauna entre los bosques primarios y las plantaciones de cacao, probablemente la comparación más adecuada debe realizarse entre los bosques secundarios y las plantaciones de cacao.

En los sistemas de cultivo de cacao complejos (agroforestal sucesional, agroforestal orgánico y agroforestal convencional en este estudio), las aves son responsables de diferentes servicios ecosistémicos, como la polinización y la dispersión de semillas de las especies de vegetación acompañante, el control de plagas y la reducción de la herbivoría de las hojas del cacao (Greenberg *et al.* 2000). Esto sugiere que el incremento de aves asociado con una mayor complejidad del sistema de producción

agrícola podría ayudar indirectamente a los agricultores a mejorar el rendimiento de los cultivos de cacao. Además, los sistemas de producción de cacao más complejos podría dar otros beneficios: el mejoramiento de la fertilidad del suelo (Beer *et al.* 1998), el suministro de materia orgánica al suelo por medio de la producción de hojarasca de los árboles que forman el dosel (Beer 1988, Rice & Greenberg 2000), el control del microclima por la reducción de la evapotranspiración y el aumento de humedad (McCulloch *et al.* 1965, Willey 1975), la aminoración de las condiciones climáticas adversas como temperaturas extremas y vientos fuertes (Hadfield 1968, Beer 1987, Beer *et al.* 1998), mayor fijación del nitrógeno atmosférico (Santana & Cabala-Rosand 1982, Beer 1988), la inhibición del crecimiento de malezas por la sombra creada por los árboles que forman el dosel (Cunningham & Lamb 1959, Vernon 1967, Beer 1987). De esta forma, se podrían vincular los mayores rendimientos de cacao en los sistemas de cultivo complejos con una mayor biodiversidad y así integrar la producción y la conservación.

Este estudio fue realizado durante la época seca de la zona. Varios estudios mostraron que la composición de avifauna varía entre las épocas por la influencia de especies migratorias boreales o australes y también por los movimientos de las especies residentes de acuerdo a la disponibilidad de recursos (Greenberg *et al.* 1997, Van Bael *et al.* 2007). Además, estos cultivos tienen menos de tres años de tiempo después de la siembra de árboles de cacao y todavía siguen en el proceso de establecimiento. El patrón del número de especies y la frecuencia de visitas de aves entre los diferentes sistemas de producción de cacao podría cambiar en el futuro cuando avance el proceso de sucesión y el establecimiento del cacao. Para obtener un esquema más completo del uso de las aves de los diferentes sistemas de cultivos de cacao, sería importante realizar un monitoreo

en los siguientes años hasta que los cultivos de cacao lleguen a un estado más estable y también cubriendo diferentes épocas del año.

Conclusiones

Los resultados de nuestro estudio experimental apoyan lo que otras investigaciones observacionales han encontrado, que la mayor diversidad de aves está asociada a los sistemas de producción de cacao que mantienen una mayor complejidad de estructura vegetal y una mayor diversidad de árboles nativos. El sistema agroforestal sucesional (SAFS) muestra la mayor similitud en la composición de aves con el barbecho, sugiriendo que mantiene una estructura vegetal y los recursos que requieren las aves. Es importante incentivar sistemas agroforestales de cacao complejos como el SAFS y los sistemas agroforestales orgánicos, que proporcionan hábitats de mayor calidad para más especies de aves. Este estudio se enfocó en la frecuencia de visitas de las aves a las parcelas en los diferentes sistemas de producción de cacao, y como estas parcelas son más pequeñas que el territorio de aves, los resultados de este estudio no garantizan que estas parcelas puedan mantener las poblaciones o las comunidades de aves. Sería importante estudiar algunos sistemas de cacao, especialmente el efecto de los sistemas agroforestales sucesionales en un área más extensa para evaluar su importancia para la conservación de la biodiversidad en los paisajes fragmentados.

Agradecimientos

El presente estudio fue realizado en el marco del programa implementado por el Instituto de Investigación para la Producción Orgánica (FiBL), Ecotop, Instituto de Ecología y PIAF-El Ceibo. Agradecemos a Joachim Milz del Ecotop por compartir su conocimiento acerca de los sistemas agroforestales de cacao, a Christian Andres del FiBL y dos revisores

anónimos por sus comentarios al manuscrito, y a Don German Trujillo y los trabajadores de Sara Ana, quienes nos ayudaron y facilitaron el trabajo de campo durante nuestra estadía en Sara Ana. El estudio fue realizado con apoyo financiero de SDC, LED, Biovision y The Coop Sustainability Fund.

Referencias

- Abrahamczyk, S., M. Kessler, D.D. Putra, M. Waltert & T. Tschardtke. 2008. The value of differently managed cacao plantations for forest bird conservation in Sulawesi, Indonesia. *Bird Conservation International* 18: 349-362.
- Achard, F., H.D. Eva, H. Stibig, P. Mayaux, J. Gallego, T. Richards & J. Malingreau. 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science* 297: 999-1002.
- Bazoberry, O.C. & C.C. Salazar. 2008. El cacao en Bolivia: una alternativa económica de base campesina indígena. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado, La Paz. 282 p.
- Beer, J. 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. *Agroforestry Systems* 5: 3-13.
- Beer, J. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* 7: 103-114.
- Beer, J., R. Muschler, D. Kass & E. Somarriba. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139-164.
- Bibby, C.J., N.D. Burgess, D.A. Hill & S. Mustoe. 2000. Bird census techniques. Academic Press, Londres. 257 p.
- Clough, Y., H. Faust & T. Tschardtke. 2009. Cacao boom and bust: sustainability of agroforests and opportunities for biodiversity conservation. *Conservation Letters* 2: 197-205.
- Clough, Y., D.D. Putra, R. Pitopang & T. Tschardtke. 2009. Local and landscape factors determine functional bird diversity in Indonesian cacao agroforestry. *Biological Conservation* 142: 1032-1041.
- Cruz-Angon, A. & R. Greenberg. 2005. Are epiphytes important for birds in coffee plantations? An experimental assessment. *Journal of Applied Ecology* 42: 150-159.
- Cunningham, R.K. & J. Lamb. 1959. A cocoa shade and manurial experiment at the West African Cocoa Research Institute, Ghana 1. First year. *Journal of Horticultural Science* 34: 14-22.
- Estrada, A. & R. Coates-Estrada. 2005. Diversity of Neotropical migratory landbird species assemblages in forest fragments and man-made vegetation in Los Tuxtlas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 14: 1719-1734.
- FAOSTAT. 2012. FAO statistical database. Available from: <http://faostat3.fao.org/home/index.html>. Accedido el 24 de septiembre de 2009.
- Faria, D., M.L. Barradas, M. Dixo, R.R. Laps & J. Baumgarten. 2007. Ferns, frogs, lizards, birds and bats in forest fragments and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic forest, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 16: 2335-2357.
- Faria, D., R.R. Laps, J. Baumgarten & M. Cetra. 2006. Bat and bird assemblages from forests and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic Forest of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 15: 587-612.
- Faria, D., M.L.B. Paciencia, M. Dixo, R.R. Laps & J. Baumgarten. 2007. Ferns, frogs, lizards, birds and bats in forest fragments and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic forest, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 16: 2335-2357.

- Gotelli, N.J. & A.M. Ellison. 2004. A primer of ecological statistics. Sinauer Associates, Inc., Sunderland. 510 p.
- Greenberg, R., P.Bichier, A.C. Angon, C. MacVean, R. Perez & E. Cano. 2000. The impact of avian insectivory on arthropods and leaf damage in some Guatemalan coffee plantations. *Ecology* 81: 1750-1755.
- Greenberg, R., P. Bichier, A. Cruz Angon & R. Reitsma. 1997. Bird populations in shade and sun coffee plantations in central Guatemala. *Conservation Biology* 11: 448-459.
- Greenberg, R., P. Bichier & J. Sterling. 1997. Bird populations in rustic and planted shade coffee plantations of eastern Chiapas, Mexico. *Biotropica* 29: 501-514.
- Hadfield, W. 1968. Leaf temperature, leaf pose and productivity of the tea bush. *Nature* 219: 282-284.
- Henderson, J.S., R.A. Joyce, G.R. Hall, W.J. Hurst & P.E. McGovern. 2007. Chemical and archaeological evidence for the earliest cacao beverages. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 18937-18940.
- Hughes, J.B., G.C. Daily & P.R. Ehrlich. 2002. Conservation of tropical forest birds in countryside habitats. *Ecology Letters* 5: 121-129.
- Kessler, M., S. Abrahamczyk, M.M. Bos, D. Buchori, D.D. Putra, S.R. Gradstein, P. Höhn, J. Kluge, F. Orend & R. Pitopang. 2009. Alpha and beta diversity of plants and animals along a tropical land-use gradient. *Ecological Applications* 19: 2142-2156.
- McCulloch, J.S.G., H.C. Pereira, O. Kerfoot & N.A. Goodchild. 1965. Effect of shade trees on tea yields. *Agricultural meteorology* 2: 385-399.
- Motamayor, J.C., P. Lachenaud, J. Wallace da Silva e Mota, R. Loor, D.N. Kuhn, J.S. Brown & R.J. Schnell. 2008. Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L). *PLoS ONE* 3: e3311.
- Oksanen, J., F.G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P.R. Minchin, R.B. O'Hara, G.L. Simpson, P. Solymos, M.H.H. Stevens & H. Wagner. 2017. *vegan*: community ecology package. R package version 2.4-2. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- Ralph, C J., J.R. Sauer & S. Droege (eds.). 1995. Monitoring bird populations by point counts. U.S. Department of Agriculture, Albany. 187 p.
- Reitsma, R., J. Parrish & W. McLarney. 2001. The role of cacao plantations in maintaining forest avian diversity in southeastern Costa Rica. *Agroforestry Systems* 53: 185-193.
- Rice, R.A. & R. Greenberg. 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio* 29: 167-173.
- Santana, M.B.M. & P. Cabala-Rosand. 1982. Dynamics of nitrogen in a shaded cacao plantation. *Plant and Soil* 67: 271-281.
- Schneider, M. & R. Seidel. 2010. Estudios de línea base en biodiversidad en Sara Ana, Alto Beni, en el marco de la comparación de sistemas de Producción de cacao a largo plazo. pp. 105-107. En: Beck, S. G., N. Paniagua, R. P. López & N. Nagashiro (eds.) *Biodiversidad y Ecología en Bolivia - Simposio de los 30 años del Instituto de Ecología*. Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2012. SisMet: la base de datos oficial del SENAMHI. <http://www.senamhi.gob.bo/sismet/index.php>. Accedido el 18 de septiembre de 2012.
- Simpson, G.L. 2016. *permute*: functions for generating restricted permutations

- of data. R package version 0.9-4.
<https://CRAN.R-project.org/package=permute>.
- Terborgh, J., S.K. Robinson, T.A. Parker, III, C.A. Munn & N. Pierpont. 1990. Structure and organization of an Amazonian forest bird community. *Ecological Monographs* 60: 213-238.
- Van Bael, S.A., P. Bichier, I. Ochoa & R. Greenberg. 2007. Bird diversity in cacao farms and forest fragments of western Panama. *Biodiversity and Conservation* 16: 2245-2256.
- Vargas M., J., J. Tordoya, M.I. Gómez, K. Naoki, J. Aparicio E., A. Aguilar K. & M. Ocampo B. 2010. Evaluación de la fauna terrestre en la localidad de Sara Ana. pp. 126-141. En: Beck, S. G., N. Paniagua, R. P. López & N. Nagashiro (eds.) *Biodiversidad y Ecología en Bolivia - Simposio de los 30 años del Instituto de Ecología*. Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
- Vernon, A.J. 1967. New developments in cocoa shade studies in Ghana. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 18: 44-48.
- Willey, R.W. 1975. The use of shade in coffee, cocoa and tea. *Horticultural Abstracts* 45: 791-798.

Artículo recibido el: 28 febrero 2017

Aceptado en: 19 mayo 2017

Manejado por: Javier López de Casenave

Anexo 1. Lista de especies de aves observadas durante el conteo con los datos de frecuencia de visitas y el número de parcelas observadas en el barbecho y cada sistema de producción de cacao. *Frecuencia de visitas = El número de individuos total observado en cada tratamiento, los números en paréntesis indican el número de parcelas donde la especie fue observada. Ver la figura 1 para las abreviaciones.

Familia	Especie	Frecuencia de visitas (# de parcelas observadas)*					
		BAR	SAFS	AO	AC	MO	MC
Cracidae	<i>Ortalis guttata</i>	14 (4)	3 (3)	3 (3)	1 (1)	1 (1)	0 (0)
Columbidae	<i>Patagioenas</i> sp.	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (1)
	<i>Leptotila</i> sp.	1 (1)	0 (0)	0 (0)	1 (1)	1 (1)	1 (1)
	<i>Columbina talpacoti</i>	1 (1)	3 (2)	2 (1)	2 (1)	1 (1)	1 (1)
	<i>Claravis pretiosa</i>	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (1)
Cuculidae	<i>Crotophaga ani</i>	2 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Trochilidae	<i>Phaethornis stuarti</i>	1 (1)	2 (1)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
	<i>Phaethornis hispidus/malaris</i>	1 (1)	2 (2)	0 (0)	1 (1)	0 (0)	0 (0)
	<i>Amazilia lactea</i>	2 (1)	8 (4)	0 (0)	0 (0)	1 (1)	0 (0)
Rallidae	<i>Aramides cajaneus</i>	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Trogonidae	<i>Trogon curucui</i>	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Bucconidae	<i>Monasa nigrifrons</i>	2 (1)	1 (1)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Thamnophilidae	<i>Taraba major</i>	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Furnariidae	<i>Xiphorhynchus guttatus</i>	1 (1)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
	<i>Furnarius leucopus</i>	0 (0)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
	<i>Synallaxis gujanensis</i>	3 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Tyrannidae	<i>Elaenia flavogaster</i>	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
	<i>Inezia inornata</i>	0 (0)	0 (0)	3 (3)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
	<i>Poecilatriccus latirostris</i>	3 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (1)
	<i>Pyrocephalus rubinus</i>	0 (0)	0 (0)	1 (1)	1 (1)	0 (0)	0 (0)
	<i>Myiozetetes similis</i>	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	3 (2)	0 (0)
	<i>Myiozetetes granadensis</i>	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (1)	1 (1)	0 (0)
	<i>Myiodynastes maculatus</i>	0 (0)	1 (1)	2 (1)	2 (2)	0 (0)	0 (0)
<i>Tyrannus melancholicus</i>	0 (0)	1 (1)	3 (3)	1 (1)	2 (2)	2 (2)	
	<i>Myiarchus ferox</i>	0 (0)	0 (0)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Tityridae	<i>Pachyramphus polychopterus</i>	0 (0)	0 (0)	1 (1)	1 (1)	0 (0)	0 (0)
Vireonidae	<i>Cyclarhis gujanensis</i>	4 (2)	2 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
	<i>Vireo olivaceus</i>	3 (2)	2 (2)	2 (2)	1 (1)	0 (0)	0 (0)

Selección de diferentes sistemas de producción de cacao

Corvidae	<i>Cyanocorax cyanomelas</i>	2 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Troglodytidae	<i>Troglodytes aedon</i>	0 (0)	0 (0)	3 (3)	0 (0)	2 (2)	1 (1)
Turdidae	<i>Turdus amaurochalinus</i>	1 (1)	0 (0)	1 (1)	1 (1)	0 (0)	2 (1)
	<i>Turdus ignobilis</i>	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Thraupidae	<i>Cissopis leverianus</i>	1 (1)	0 (0)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
	<i>Ramphocelus carbo</i>	3 (1)	4 (3)	9 (4)	5 (2)	8 (3)	1 (1)
	<i>Thraupis episcopus</i>	2 (2)	1 (1)	8 (4)	3 (1)	4 (3)	3 (2)
	<i>Thraupis palmarum</i>	1 (1)	1 (1)	4 (3)	1 (1)	0 (0)	2 (1)
	<i>Tangara mexicana</i>	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (1)	0 (0)
	<i>Chlorophanes spiza</i>	0 (0)	2 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
	<i>Saltator maximus</i>	0 (0)	2 (1)	3 (3)	0 (0)	3 (2)	0 (0)
	<i>Ammodramus aurifrons</i>	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (1)	0 (0)	0 (0)
Icteridae	<i>Psarocolius angustifrons</i>	1 (1)	8 (3)	3 (3)	3 (2)	6 (3)	2 (1)
	<i>Cacicus cela</i>	0 (0)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	2 (1)	1 (1)
	<i>Icterus cayanensis</i>	0 (0)	0 (0)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	1 (1)
Número de especies		27	19	20	16	14	14
Frecuencia de visitas total		56	46	53	26	37	21