



RELACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE ANFIBIOS CON LAS VARIABLES ESTRUCTURALES DE SISTEMAS AGROFORESTALES DE CACAO ORGÁNICO

Rolando Andrés Gutiérrez Zúñiga & Juan Carlos Suárez Salazar

Artículo recibido el 11 de Agosto de 2011, aprobado para publicación el 05 de Diciembre de 2011.

Resumen

Se investigó como se relaciona la abundancia, riqueza y diversidad de anfibios de hojarasca con las variables de estructura vertical de la vegetación de 39 parcelas en diferentes tipologías de sistemas agroforestales con cacao orgánico y bosque en Valle de Risco, Palo Seco y Rio Oeste Arriba, Bosque Protector de Palo Seco (Panamá), durante los meses de mayo a julio de 2008. Se registraron un total de 2791 individuos pertenecientes a 34 especies de anfibios distribuidos en 11 familias. La abundancia, riqueza y diversidad de anfibios estuvo diferenciada en las tres tipologías de cacao orgánico y bosque ($p < 0,05$). Existió correlación negativa entre la riqueza de anfibios y la cobertura de la vegetación de 0 a 2 m de altura ($r = -0,38$; $p = 0,022$), por otra parte la riqueza de anfibios estuvo relacionada positivamente con la cobertura de la vegetación de 2 a 9 m de altura ($r = 0,26$; $p = 0,0121$) y el porcentaje de luz en el dosel, este último con relación negativa ($r = -0,37$; $p = 0,0274$). También hubo correlación de la abundancia con la cantidad de hojarasca en la parcela ($r = 0,40$; $p = 0,0133$), en el caso de la diversidad de anfibios se correlacionó negativamente con la cantidad de hojarasca en la parcela ($r = -0,42$; $p = 0,0105$). Se observó que las tipologías de cacao orgánico con menor estructura vertical y mayor manejo, poseen los valores más bajos de riqueza y diversidad de anfibios; sin embargo, son las que poseen la mayor abundancia de individuos.

Palabras clave: Diversidad, cobertura, ranas, conservación.

RELATIONSHIP OF AMPHIBIAN DIVERSITY WITH STRUCTURAL VARIABLES OF AGRO-FORESTRY SYSTEMS OF ORGANIC COCOA

Abstract

More than one third of the amphibian species is threatened globally, and more than 120 amphibian species could possibly be extinct since 1980. It has been investigated how to explain the relation and variation of abundance, richness and diversity on amphibians in leaves litter, with variables of vegetation vertical structure and environmental variables in 39 parcels in different typology of agroforestry systems, with organic cocoa and forest in the Valley de Risco, Palo Seco and Rio Oeste Arriba, Protector Palo Seco Forest, in Panamá during the months of may to July of 2008. A total of 2791 individuals belonging to 34 amphibian species distributed in 11 families were registered. The abundance, richness and diversity of amphibian were differentiated into three typologies of organic cocoa, and forest ($p < 0.05$). There was a correlation between the amphibian richness, the vertical structure ($r = 0.26$; $p = 0.0121$) and the light percentage of the canopy ($r = -0.36$; $p = 0.0274$). There was also a correlation in the abundance ($r = 0.40$; $p = 0.0133$) and diversity ($r = -0.42$; $p = 0.0105$) on amphibians with the quantity of leaves litter, the same was obtained with the parcels altitude (abundance, $r = 0.41$; $p = 0.0127$ and diversity, $r = -0.45$; $p = 0.0059$). It was observed that the cocoa organic typology with less vertical structure and greater management have the lesser value in richness and amphibian diversity; however, these are the ones that have the greatest individuals abundance.

Key words: Diversity, cover, frogs, conservation.

Introducción

Uno de los actuales retos para la conservación es enfrentar simultáneamente las necesidades económicas que estimulan la expansión agrícola y la protección de la integridad de los ecosistemas y viabilidad de las especies, ya que la mayoría de las prácticas agrícolas tienden a reducir la biodiversidad mediante el reemplazo o deterioro del hábitat natural (Perfecto *et al.*, 1996). En este sentido, los agroecosistemas de Cacao (*Theobroma cacao* L.) pueden ser una opción de uso de la tierra que permita conectar y proteger, en lugar de aislar las áreas que protegen los bosques tropicales (Parrish *et al.*, 1999).

Los sistemas agroforestales de *T. cacao* son una herramienta de conservación de la biodiversidad tropical dentro de zonas rápidamente deforestadas y con otros usos de la tierra, debido a que convierten áreas agrícolas típicamente abiertas y deterioradas, en un sistema cerrado comparable al bosque (Perfecto *et al.*, 1996); debido a su alta diversidad vegetal que provee de hábitats, nichos y alimentos para otras especies de plantas y animales; sirven de zonas amortiguadoras para las áreas protegidas; y de conexión entre los ecosistemas intactos y manejados del paisaje (Suatunce *et al.*, 2003).

Las plantas de *T. cacao* pueden ser cultivadas junto con otros árboles, hierbas gigantes (banano) y otras formas de plantas, en arreglos espaciales y temporales, con diferentes densidades y con copas de árboles a diferentes alturas, para proporcionar sombra a las plantas de *T. cacao* y generar bienes y servicios para los hogares campesinos y la sociedad (Somarriba *et al.*, 2007). Numerosos estudios han sugerido que los sistemas agroforestales multiestratos con *T. cacao* pueden contribuir a la conservación de la biodiversidad pues proveen hábitats alternativos y recursos para la vida silvestre (Estrada *et al.*, 1993; Parrish *et al.*, 1999; Medellín *et al.*, 2000; Gaudrin y Harvey, 2003; Faria *et al.*, 2006; Delabie *et al.*, 2007; Faria *et al.*, 2007; Harvey y González-Villalobos, 2007; Van Bael *et al.*, 2007; Vaughan *et al.*, 2007); sin embargo, pocos

estudios han comparado la biodiversidad entre los sistemas agroforestales con la de bosques y otros usos de la tierra, haciendo difícil acceder a su potencial de conservación (Harvey y González-Villalobos, 2007).

Según Schroth y Harvey (2007), hay nuevas amenazas a la conservación de la biodiversidad en los paisajes de producción de Cacao, que incluye pérdida de la cubierta forestal restante, la simplificación de doseles con sombra y la conversión de los sistemas agroforestales con Cacao a otros usos de la tierra agrícola con un menor valor para la biodiversidad. Para contrarrestar esta amenaza y conservar la diversidad biológica a largo plazo, el manejo de la tierra debería centrarse en la conservación de los hábitats de bosques nativos dentro de los paisajes con cultivos de Cacao, que permita mantener o restablecer florística y estructuralmente diversos complejos de sistemas agroforestales con sombra y otros tipos de explotación de la cubierta forestal y así mejorar la conectividad del paisaje y la disponibilidad del hábitat.

Por otra parte Parrish *et al.* (1999) afirman que comprender los regímenes de manejo típicos de la producción de Cacao a través de las zonas neotropicales constituye un primer paso para relacionar la producción de cultivos con la conservación de la biodiversidad. De esta manera es necesario reunir información sobre los factores que determinan la calidad del hábitat para diferentes grupos de especies taxonómicas, de manera que se puedan desarrollar directrices adecuadas para su manejo (Schroth y Harvey, 2007). Esta investigación tuvo como fin evaluar el hábitat potencial que tienen las diferentes tipologías de sistemas agroforestales con Cacao orgánico para la presencia y mantenimiento de anfibios de hojarasca y aportar insumos al entendimiento del balance entre la productividad y la conservación de dichos sistemas, a fin de sugerir prácticas favorables que puedan repercutir en el diseño de políticas eficaces para la conservación de la biodiversidad en los paisajes con sistemas agroforestales de Cacao.

Materiales y métodos

Área de estudio

Según el Plan de Manejo del Bosque Protector de Palo Seco (BPPS), el área protegida tiene un área de 167,409 ha y está ubicada en la periferia del Parque Internacional La Amistad (PILA), al noroeste de la provincia de Bocas del Toro y el noreste de la comarca Ngäbe-Buglé, en Panamá. La zona de estudio está ubicada en los corregimientos Valle de Risco (Filo Risco), Palo Seco y Rio Oeste Arriba, municipio de Almirante, provincia de Bocas del Toro, dentro del BPPS. El área de estudio presenta características de vida de Bosque Húmedo Tropical (Holdridge, 1978). El relieve del área presenta regiones de cerros bajos, colinas, montañas medias, montañas altas, picos de cimas de montañas altas y valles intermontanos. Los promedios anuales de temperatura oscilan entre los 25 y 27°C. La humedad relativa es de 84,5% como promedio anual, y el mes más húmedo es junio. Los totales de precipitación alcanzan 2513 mm de promedio anual. El área regional posee suelos cuya capacidad agrológica va desde los suelos arables tipo II y III hasta suelos no arables tipo IV, V, VI, VII y VIII, que se distribuyen en forma dispersa por toda la región, con predominio de los suelos no arables, localizados hacia la parte norte del área regional (Plan de Manejo del Bosque Protector de Palo Seco, 2003).

El uso que se le da a la tierra en las comunidades del BPPS, se ha dividido en agrícola, pecuario y forestal. En la actividad agrícola, la mayor superficie se dedica a la siembra de Arroz (*Oryza sativa* L.), Yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y Maíz (*Zea mays* L.), otros cultivos que se encuentran son: Coco (*Cocos nucifera* L.), Pixbae (*Bactris gasipaes* Kunth), Naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), Cilantro (*Coriandrum sativum* L.), Ají (*Capsicum annum* L.), Tomate (*Solanum esculentum* Dunal), Cacao (*Theobroma cacao* L.), Plátano (*Musa* spp.), Aguacate (*Persea americana* Mill.), Guandú (*Cajanus cajan* (L.) Huth) y Café (*Coffea arabica* L.). La actividad

pecuaria, se da en menor escala que la agrícola, consiste en el establecimiento de pastizales para la cría de reses y de animales menores (cerdos, gallinas y patos). En el trabajo de campo se observaron áreas dedicadas a plantaciones forestales, las cuales incluyen especies introducidas para la posterior explotación (Plan de Manejo del Bosque Protector de Palo Seco, 2003).

Selección de los sitios de estudio

En el área de estudio se mantienen plantaciones de Cacao orgánico desde principios de los años 80's, y las comunidades indígenas de la zona han optado por este sistema dado el bajo costo que representa realizar labores de manejo y mantenimiento de los cacaotales.

Para la elección de las diferentes tipologías de cacaotales orgánicos se definieron las fincas con sistemas agroforestales de Cacao en el corregimiento de Valle de Risco y Palo Seco dentro del BPPS y Rio Oeste Arriba ubicada en la zona amortiguadora del área protegida. De las 6 tipologías de sistemas agroforestales con Cacao orgánico identificadas por Somarriba y Harvey (2003) y Suatunce *et al.* (2003), se escogieron los niveles más contrastantes de clasificación, según la cantidad de cobertura, estratificación vertical y composición florística, las cuales representaron la mayor varianza, resultando en solo 3 tipos de cacaotales (Cacao con Laurel y Banano, Cacao multiestrato diversificado y Cacao con árboles remanentes de bosque) y como tratamiento testigo el bosque secundario, para un total de 4 tratamientos, distribuidas en 20 parcelas ubicadas por debajo de los 180 msnm hasta los 10 msnm y fueron definidas como zona baja y 19 parcelas ubicadas por encima de los 190 msnm hasta los 419 msnm definidas como zona alta. La selección de los cuatro (4) tratamientos, coincide con el análisis discriminante canónico de las características estructurales en las tipologías de cacao y bosque, que diferencia las tres tipologías de cacao (Cacao con Laurel y Banano, Cacao multiestrato diversificado y Cacao con árboles remanentes) y bosque natural secundario.

Muestreo de anfibios de hojarasca

El muestreo de anfibios de hojarasca se realizó desde mayo a julio de 2008. Se utilizó el método de cuadrantes propuesto por Heyer *et al.* (1994), en cada una de las 39 parcelas de muestreo establecidas en los tratamientos (9 parcelas correspondían a Cacao con Laurel y Banano, 10 parcelas a Cacao multiestrato diversificado, 9 parcelas a Cacao con árboles remanentes de bosque y 11 a bosque natural). Cada parcela se estableció en un área de 70 m de largo por 20 m de ancho ubicada en el centro de cada parcela y se ubicaron 10 cuadrantes de 5 m x 5 m, separados entre sí a 10 m de distancia. Tres personas muestrearon un día (recorrido diurno y nocturno por parcela) en época seca por parcela (29 horas/muestreo/persona en total para recorrido diurno época seca y 29 horas/muestreo/persona en total para recorrido nocturno época seca), y otro con igual intensidad horaria en época lluviosa. El esfuerzo de muestreo por parcela fue de 3 horas/persona, y en total por tipo de cobertura 33 horas/persona para bosque, 27 horas/persona en Cacao con Laurel y Banano, 30 horas/persona en Cacao multiestrato diversificado y 27 horas/persona en Cacao con árboles remanentes de bosque.

En cada cuadrante, se capturaron, registraron e identificaron todos los individuos de anfibios observados en el suelo y se removió la hojarasca y vegetación hasta una altura de 1,5 m. La identificación en campo de los individuos se realizó a través de las claves taxonómicas de Savage (2002), y los animales no identificados se colectaron y fijaron según el protocolo propuesto por Simmons (1987), para posteriormente ser identificados en el laboratorio de herpetología del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI) en Ciudad de Panamá.

Variables de hábitat

Para la evaluación de la estructura vertical en tipologías de Cacao orgánico y bosque natural se tuvo en cuenta la metodología de Thiollay (1992), la cual permite evaluar el grado de heterogeneidad de la estructura vertical del

bosque por medio del cálculo de un índice que tiene en cuenta la cobertura de la vegetación en varios estratos, desde el sotobosque hasta el dosel. Las parcelas son realizadas una por cada cuadrante en el área donde se muestrea los anfibios y el procedimiento se efectúa en todas las repeticiones por las diferentes tipologías de SAF con Cacao orgánico y bosque natural. Según la metodología de Thiollay (1992), en el centro de cada una de las parcelas de 10 m x 10 m, se estima el porcentaje de cobertura de la vegetación de cada uno de 5 estratos: a) 0-2 m, b) 2-9 m, c) 10-20 m, d) 20-30 m, y e) >30 m, mediante una escala simple con valores de 0, 1, 2 ó 3, si el porcentaje de cobertura es de 0 equivale a observar en la parcela de 10 m x 10 m de 1 a 33 % de cobertura, 1 equivale a observar en la parcela un porcentaje de cobertura del 34 a 66 %, y 3 equivale a observar un porcentaje de cobertura del 67 a 100 %. Respecto al análisis de datos, según la metodología de Thiollay (1992), en cada cobertura muestreada, se calcula para cada uno de los 5 estratos, un promedio de cobertura del follaje a través de los valores registrados en los puntos de muestreo.

La toma de datos del porcentaje de cobertura de vegetación en varios estratos se llevó a cabo en el centro de los 10 cuadrantes de 5 m x 5 m por parcela establecidos para todos los tipos de cobertura, donde se muestrearon los anfibios y posteriormente se calculó el valor promedio de todos los cuadrantes por parcela de 70 m x 20 m establecidos según la metodología propuesta por el Proyecto Cacao Centroamérica para la zona de Talamanca en Costa Rica y Bocas del Toro en Panamá. Se procedió a medir la cantidad de luz que penetra en el dosel de las tipologías de cacao y bosque con el densímetro Spherical Crown Densimeter® en la misma zona donde se registró el porcentaje de cobertura de la vegetación (10 cuadrantes y se tomó solo la media de estos por parcela) para efectos de medir la luz en la canopia y su incidencia sobre los anfibios observados por parcela. Una vez obtenidos estos datos se marcaron 10 cuadrículas de 50 cm x 50 cm con un cuadrado construido en estacas de madera y cuerda de plástico, dispuestas en toda la parcela de 70 m x 20 m, en sitios con mayores diferencias en el sustrato.

En cada cuadrícula se midieron las variables a manera de porcentaje y se calculó por observación directa la totalidad que cubría el sustrato del cuadrado de 50 cm x 50 cm; por ejemplo, en el sustrato de un cuadrado cubierto completamente con hojarasca totalizaba el 100% de cobertura de hojarasca, aunque también podía existir un 30% de cobertura de leña, o en una cuadrícula de 50% de cobertura de roca podía existir 70% de leña, 40% de hojarasca y 5% de cobertura descubierta. De esta manera y por observación directa se efectuó el cálculo de las variables de porcentaje del sustrato en las cuadrículas (descubierto, hojarasca, vegetación arbustiva, troncos o ramas de árboles y arbustos, y rocas presentes). Una vez obtenidos estos datos, se registraron los kilogramos de materia húmeda de hojarasca de las 10 cuadrículas de 50 cm x 50 cm en cada parcela, es decir se tomó la hojarasca total de las 10 cuadrículas por parcela y se midió el peso húmedo en una pesa electrónica en campo y se tomó solo una muestra de 50 gramos por parcela de la que se determinó el peso seco en el Laboratorio CATIE. Una vez obtenidos los resultados del peso seco se extrapoló ese valor a la muestra de los 1500 gramos y luego al área total de los 10 cuadrantes de 5 m² medidas por parcela.

La distancia a cuerpos de agua fue medida con una cinta métrica desde el centro de la parcela de 70 m x 20 m, hasta el cuerpo de agua más cercano, dado que en el área muestreada hubo siempre presencia de quebradas, riachuelos y ríos de carácter permanente. En cada parcela las variables ambientales, temperatura del aire y humedad relativa fueron registradas con un termo higrómetro Digital Max/Min Thermohygrometer®, obteniendo dos registros una vez comenzaba el muestreo de anfibios e inmediatamente finalizado y se anotó la media de estos por parcela. De la temperatura del suelo se obtuvieron 2 datos por visita con un termómetro de 13 cm digital dispuesto en el sustrato del centro de la parcela y se registró la media. La variable de precipitación se tomó con un pluviómetro el cual fue instalado lo más cercano posible al área de muestreo solamente en las dos épocas de muestreo (época seca y

lluviosa), dado el comportamiento fisiológico de las especies de anfibios, los cuales con pequeñas y pronunciadas lluvias podrían ser observadas y oídas fácilmente en la parcela muestreada. Las variables de altitud y coordenadas geográficas fueron obtenidas en el centro de cada parcela con un sistema de posicionamiento global (GPS) Garmin® GPS 60 Series GPS Receivers.

Análisis de datos

Para cada una de las 39 parcelas, se registró el número de especies e individuos e índice de diversidad de Shannon y Simpson, además se generaron curvas de acumulación de especies, para cada una de las tipologías, esto constituye una forma gráfica de expresar visualmente la riqueza de especies y define la intensidad de muestreo (Magurran, 1988; Sánchez, 2001). El estimador de especies acumuladas fue MaoTao obtenidas a través del programa StimateS (Colwell, 2007) y se generaron curvas de rango abundancia para cada una de las tipologías.

Para observar el agrupamiento de las tipologías de Cacao y bosque según las variables estructurales se utilizó el análisis discriminante canónico y se elaboró un gráfico Biplot en el programa estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2010). Las variables utilizadas corresponden a cobertura de la vegetación de 0 a 2 m de altura, cobertura de la vegetación de 2 a 9 m de altura, cobertura de la vegetación de 10 a 20 m de altura, cobertura de la vegetación de 20 a 30 m de altura, cobertura de la vegetación mayor a 30 m de altura, cantidad de luz en la canopia y cantidad de hojarasca en el sustrato. Se comparó, las tipologías a través del análisis de varianza, donde las variables respuesta fueron abundancia, riqueza e índices de diversidad en el programa estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2008). El análisis de varianza fue un diseño en parcelas divididas con dos factores en la parcela principal, donde los factores correspondían a las tipologías de Cacao orgánico y bosque y la ubicación de las parcelas de acuerdo a su altitud (zona alta, zona baja), y un factor en la subparcela (época lluviosa y época seca). El modelo para este arreglo factorial es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + Z_j + T_i Z_j + \text{rep } k (T_i Z_j) + E_l + T_i E_l + Z_j E_l + T_i Z_j E_l + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} : observación para la variable de interés.

μ : media general.

T_i : efecto de la i -ésima tipología.

Z_j : efecto de la j -ésima zona.

$T_i Z_j$: interacción tipología x zona.

rep $k (T_i Z_j)$: término de error para la parcela principal (Error "A").

E_l : efecto de la l -ésima época.

$T_i E_l$: interacción de la tipología x época.

$Z_j E_l$: interacción de la zona x época.

$T_i Z_j E_l$: interacción de la tipología x zona x época.

ϵ_{ijkl} : término de error aleatorio independiente y supuestamente distribuido normal con media cero y varianza conocida (Error "B").

Para determinar el grado de asociación de las tipologías de cacao con respecto a la composición de especies se realizó un análisis de ordenación (Coordenadas principales). La distancia utilizada fue Bray Curtis (McCune y Mefford 1999).

Relación de las variables estructurales con la diversidad de especies

Para conocer el grado de asociación de las variables estructurales con los distintos atributos de la comunidad de anfibios, se realizó análisis de correlación de Pearson. Una vez identificadas las variables estructurales que estuvieran relacionadas con la diversidad de anfibios, se realizó modelos de regresión múltiples, y así, se determinó las variables estructurales que influyen en la riqueza, abundancia e índices de diversidad de especies. Además, con los valores de la coordenada principal 1 del análisis de ordenación de especies y las variables de estructura, se realizó regresiones lineales múltiples para determinar que variables estructurales (regresoras) determinan que las tipologías de Cacao se parezcan o no, entre si, según las especies de anfibios que compartan.

Resultados y discusión

Tipologías de cacao y bosque natural

El análisis discriminante canónico de las características estructurales en los cuatro tratamientos, muestra que hay tres grupos

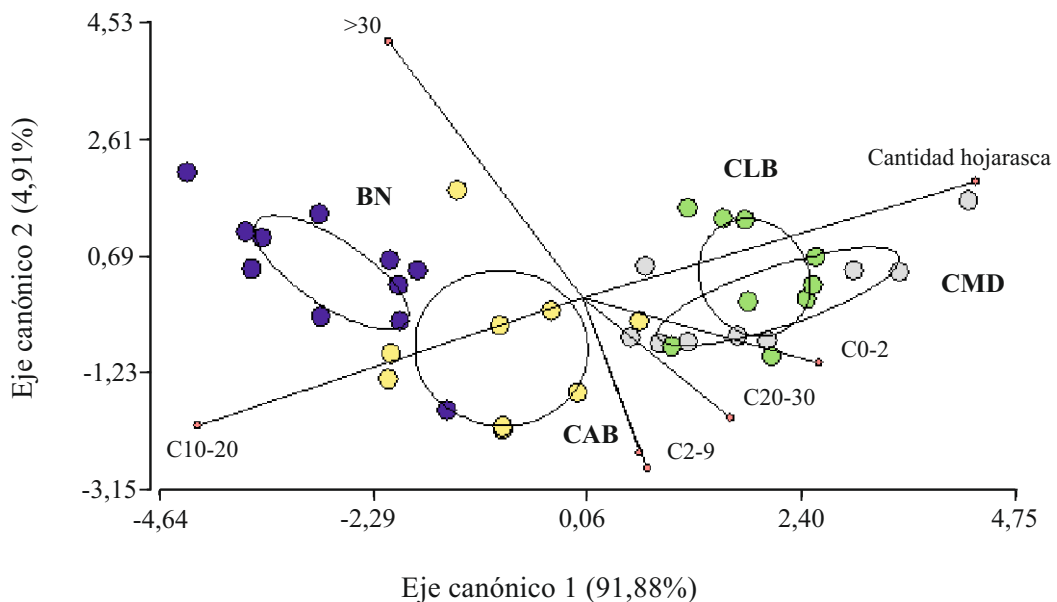


Figura 1. Gráfico discriminante que muestra como las variables medidas en las distintas tipologías de Cacao orgánico y bosque, agrupan tres tipos de usos de suelo. 1) bosque natural (BN), 2) Cacao con árboles remanentes de bosques (CARB) y 3) Cacao con Laurel y Banano (CLB) y Cacao multiestrato diversificado (CMD).

diferenciados, el primer grupo de Cacao con Laurel y Banano (CLB) y Cacao multiestrato diversificado (CMD), discriminado en el eje canónico 1 y en otro grupo, Cacao con árboles remanentes de bosque (CARB) y bosque natural (BN), en el eje canónico 2, separa a Cacao con árboles remanentes de bosque del bosque natural. Las variables que discriminaron estos grupos en el eje canónico 1 son cobertura de vegetación de 0-2 m de altura, cobertura de vegetación de 10-20 m y cobertura de vegetación >30 m; en el eje canónico 2, cobertura de vegetación de 10-20 m y temperatura del suelo en época seca (Figura 1).

La tipología Cacao con Laurel y Banano (CLB) registró un estrato diferenciado, cobertura de dosel abierto y elevada cantidad de luz que penetra en el sotobosque, constituyó además, las plantaciones de Cacao con mayor manejo (chapias y podas al año). La tipología Cacao multiestrato diversificado (CMD) estuvo conformado por dos estratos bien desarrollados, cobertura de dosel moderadamente cerrado, menor cantidad de luz que penetra al sotobosque, dos o más árboles de sombra (Laurel, Cedro, Nance, Ceibo, y algunos frutales como Pejibaye, Banano, Naranja, Limón, entre otros), y un régimen menor de manejo. La tipología de Cacao con árboles remanentes de bosque (CARB) contenía tres o más estratos diferenciados, cobertura de dosel de moderadamente cerrado a cerrado parcialmente, baja o nula cantidad de luz que penetra el sotobosque, en la mayoría de los casos las plantas del estrato alto son remanentes del bosque natural o provienen de la regeneración natural (árboles de Ceibo (*Pseudobombax* sp.), Guácimo (*Guazuma* sp.), Roble (*Quercus* sp.), Almendro (*Dipteryx* sp.), Guabo (*Balizia* sp.), Laurel (*Cordia* sp.) y en algunos casos, frutales presentes), una parte de las parcelas pertenecían a cacaotales rústicos y tuvieron poco o ningún manejo durante años.

Abundancia y diversidad de anfibios en tipologías de cacao orgánico y bosque natural

Se registraron un total de 2791 individuos pertenecientes a 34 especies de anfibios,

distribuidos en 11 familias (Cuadro 1), con un esfuerzo de muestreo de 117 horas/persona en 9750 m². La familia más abundante de anfibios fue Dendrobatidae (2397 individuos) y la familia que ocupó la mayor riqueza fue Craugastoridae (8 especies), seguida de la familia Dendrobatidae (6 especies), en cuanto a las demás familias de anfibios Aromobatidae, Bufonidae, Caeciliidae, Centrolenidae, Eleutherodactylidae, Hylidae, Leptodactylidae, Ranidae, Strabomantidae, sumaron una riqueza de 20 especies (Cuadro 1). La curva de rarefacción de especies (Figura 2) da como resultado un total de 34 especies de anfibios para el área de muestreo. La mayor dominancia en las tipologías de Cacao y bosque, lo registró una especie de la comunidad de anfibios del Cacao multiestrato diversificado (CMD), seguido de bosque natural (BN) y Cacao con Laurel y Banano (CLB), finalmente, el que presentó la menor dominancia de especies fue el Cacao con árboles remanentes de bosque (CARB) (Figura 3).

Hubo diferencias en el esfuerzo de muestreo/persona, en los tipos de coberturas, pues el bosque natural (BN) registró 33 horas/muestreo/persona, el cacao con árboles

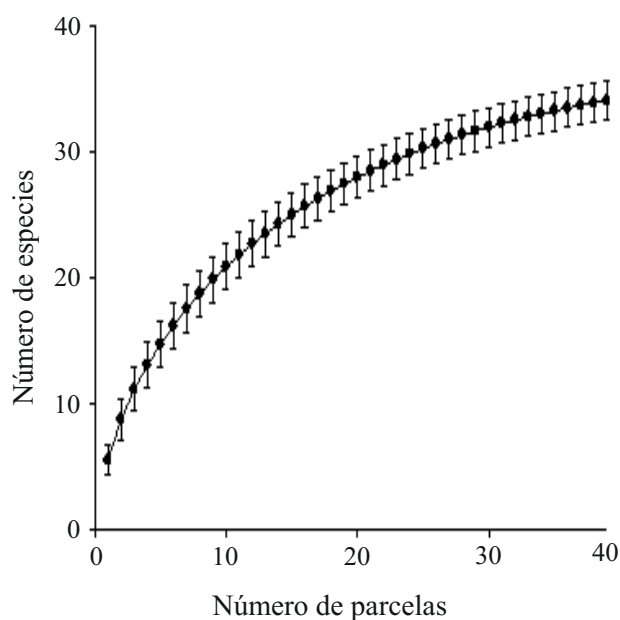


Figura 2. Curva de rarefacción de especies del paisaje agroforestal con Cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.

Cuadro 1. Abundancia de anfibios registrados en 39 parcelas de 4 tipos de cobertura en un paisaje agroforestal de Cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.

Familia/especie	Tipos de cobertura				Total n= 39
	BN* n= 11	CARB** n= 9	CLB*** n= 9	CMD**** n= 10	
Aromobatidae					
<i>Allobates</i> sp.	1	0	0	3	4
<i>Allobates talamancae</i>	29	6	31	68	134
Bufo					
<i>Cranopsis conifera</i>	0	1	0	0	1
<i>Rhaebo haematiticus</i>	0	13	0	2	15
<i>Chaunus marinus</i>	0	4	1	2	7
Caeciliidae					
<i>Caecilia volceni</i>	1	0	0	1	2
Centrolenidae					
<i>Centrolene ilex</i>	1	0	0	0	1
<i>Cochranella granulosa</i>	5	34	0	0	39
<i>Hyalinobatrachium valerioi</i>	7	0	3	0	10
Craugastoridae					
<i>Craugastor bransfordii</i>	7	7	6	7	27
<i>Craugastor crassidigitus</i>	5	0	0	0	5
<i>Craugastor fitzingeri</i>	0	1	1	0	2
<i>Craugastor gollmeri</i>	1	0	0	0	1
<i>Craugastor megacephalus</i>	5	0	0	0	5
<i>Craugastor noblei</i>	0	3	0	0	3
<i>Craugastor</i> sp.	37	12	27	9	85
<i>Craugastor talamancae</i>	0	1	1	0	2
Dendrobatidae					
<i>Colostethus pratti</i>	15	4	2	0	21
<i>Colostethus</i> sp.	6	5	8	4	23
<i>Dendrobates auratus</i>	41	24	38	51	154
<i>Oophaga pumilio</i>	694	166	418	908	2186
<i>Phyllobates lugubris</i>	0	7	0	0	7
<i>Silverstoneia flotator</i>	2	4	0	0	6
Eleutherodactylidae					
<i>Diasporus quidditus</i>	0	2	0	0	2
<i>Diasporus</i> sp1.	2	0	0	2	4
Hylidae					
<i>Agalychnis callidryas</i>	3	3	1	2	9
<i>Dendropsophus ebraccatus</i>	0	3	0	0	3
<i>Scinax elaeochrous</i>	0	0	0	2	2
Leptodactylidae					
<i>Leptodactylus pentadactylus</i>	0	4	1	1	6
Ranidae					
<i>Lithobates vaillanti</i>	0	2	0	2	4
<i>Lithobates warszewitschii</i>	0	9	0	0	9
Strabomantidae					
<i>Pristimantis altae</i>	1	0	0	0	1
<i>Pristimantis cerasinus</i>	1	0	0	0	1
<i>Pristimantis gaigeae</i>	6	3	0	1	10
Riqueza total	21	23	13	16	34
Abundancia total	870	318	538	1065	2791
Esfuerzo de muestreo/persona	33	27	27	30	117

(BN) Bosque natural, (CARB) Cacao con árboles remanentes de bosque, (CLB) Cacao, Laurel y Banano (MD) Cacao multiestrato diversificado. * 2750 m², **2250 m², ***2250 m², ****2500 m².

remanentes de bosque (CARB) 27 horas/muestreo/persona, el Cacao con Laurel y Banano (CLB) 27 horas/muestreo/persona y el Cacao con árboles remanentes de bosque (CARB) 30 horas/muestreo/persona. La mayor abundancia total de individuos para el grupo de anfibios fue en parcelas de Cacao multiestrato diversificado (38% del total global) y bosque natural (31% del total global), las parcelas de Cacao con Laurel y Banano (19% del total global), tuvieron el menor número de individuos, junto con las parcelas de Cacao con árboles remanentes de bosque (11% del total global) (Cuadro 1). La mayor riqueza de especies fue observada en Cacao con árboles remanentes de bosque con 23 especies, seguido de bosque natural con 21 especies, el Cacao multiestrato diversificado y las parcelas de Cacao con Laurel y Banano sumaron 16 y 13 especies respectivamente (Cuadro 1). *Oophaga pumilio* fue la especie de mayor abundancia (78%) en las tipologías de Cacao orgánico y bosque natural, *Dendrobates auratus* 6%, *Allobates talamancae* 5%, *Craugastor* sp. 3% y *Cochranella granulosa* 1%.

Los anfibios con un solo individuo por especie (singletons) en bosque natural, totalizaron 8 especies, seguido de Cacao con árboles remanentes de bosque con 3 especies, Cacao con Laurel y Banano 5 especies y Cacao multiestrato diversificado 3 especies con un solo individuo. El mayor porcentaje de especies únicas fue igual tanto para bosque natural (46%) como Cacao con árboles remanentes de bosque (46%), seguido de Cacao multiestrato diversificado (8%) (Cuadro 1). El Cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), tiene mayor probabilidad de acumular especies que el Cacao multiestrato diversificado (CMD) y el Cacao con Laurel y Banano (CLB), además, el bosque natural (BN), presenta, mayor posibilidad de acumular especies que el Cacao con Laurel y Banano (CLB).

Comparación entre tipologías de Cacao según las comunidades de anfibios y factores ambientales

Aunque se muestra interacción significativa en

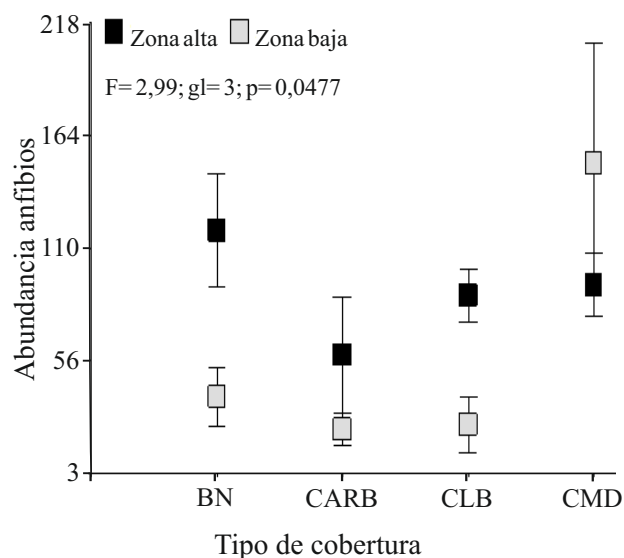


Figura 3. Interacción entre la abundancia de anfibios en tipologías de cacao orgánico y bosque natural y la altitud, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.

la abundancia de anfibios, no es evidente en la comparación de medias. Por lo tanto, solamente se observa que el bosque natural (BN) y el Cacao con Laurel y Banano (CLB), registraron, mayor número de anfibios en la zona alta que en la zona baja, las otras dos tipologías no mostraron estas diferencias (Figura 3).

La riqueza de especies en la zona alta fue mayor en todas las tipologías que las de zona baja ($F=3,11$; $gl=3$; $p=0,0424$). Al contrario, no hubo interacciones entre la diversidad de anfibios y la altitud, por otra parte, esta se mantuvo y fue mayor en las tipologías de la zona alta comparado con las de la zona baja ($F=4,46$; $gl=1$; $p=0,0438$).

Abundancia, riqueza y diversidad de anfibios entre tipologías de Cacao orgánico y bosque natural

Existió diferencia significativa en la abundancia de anfibios entre tipologías ($F=3,00$; $gl=3$; $p=0,0448$) (Figura 4a), y en la riqueza de especies de anfibios ($F=2,88$; $gl=3$; $p=0,0511$) (Figura 4b). Sin embargo, no hubo diferencia significativa para los índices de diversidad ($F=1,81$; $gl=3$; $p=0,1687$).

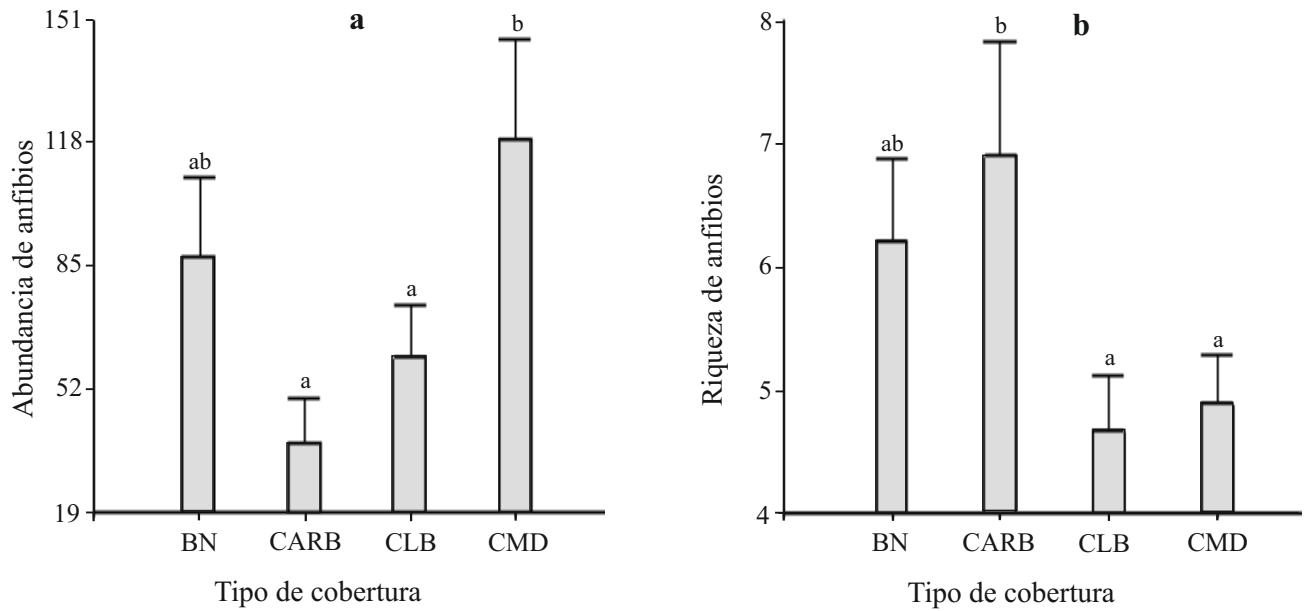


Figura 4. Anfibios entre tipologías de Cacao orgánico y bosque natural, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. **a.** Abundancia de especies **b.** Riqueza de especies.

Comparación de la composición de comunidades de anfibios en tipologías de Cacao orgánico y bosque natural

Los tipos de uso de suelo que comparten especies son: Cacao con Laurel y Banano (CLB) y Cacao multiestrato diversificado (CMD), siendo el bosque natural (BN) y el Cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), los tipos de uso del suelo que comparten menos especies y que forman un solo grupo, asumiendo además, que tienen hábitats propios (Figura 5).

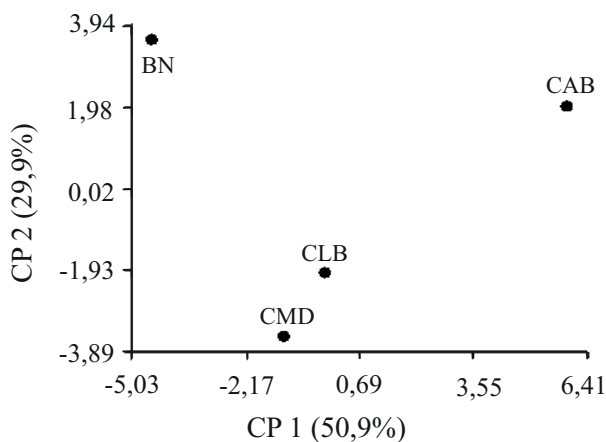


Figura 5. Gráfico de ordenación (Coordenadas principales) para anfibios en tipologías de Cacao orgánico y bosque natural, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.

El uso de suelo bosque natural (BN) registró seis (6) especies propias (*Centrolene ilix*, *Craugastor crassidigitus*, *Craugastor gollmeri*, *Craugastor megacephalus*, *Pristimantis altae* y *Pristimantis cerasinus*), el Cacao con árboles remanentes de bosque (CARB) presentó seis (6) (*Cranopsis conifera*, *Craugastor noblei*, *Phyllobates lugubris*, *Diasporus quidditus*, *Dendropsophus ebraccatus* y *Lithobates warszewitschii*), el cacao multiestrato diversificado (CMD), solo registró 1 especie propia de este uso de suelo (*Scinax elaeochrous*) y el Cacao con Laurel y Banano no presentó especies propias (Cuadro 1).

Efectos de las características estructurales de las tipologías de Cacao y bosque y la conservación de anfibios

Al comparar la densidad de la vegetación en varios estratos de las parcelas, se encontró correlación negativa entre el porcentaje de cobertura de la vegetación de 0 a 2 m de altura, con la riqueza de anfibios ($r = -0,38$; $p = 0,022$), en el caso de la cobertura de vegetación de 2 a 9 m, sucede lo contrario, la correlación es positiva ($r = 0,26$; $p = 0,0121$), la cantidad de luz en el dosel presenta una correlación negativa con la riqueza de anfibios ($r = -0,36$;

Cuadro 2. Correlación de la estructura vertical en las tipologías de Cacao orgánico y bosque natural vs. Riqueza, abundancia y diversidad de anfibios, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.

Variables	Riqueza		Abundancia		Diversidad	
	R	P	R	P	R	P
Cobertura 0-2 m	-0,38	0,022	-0,08	0,6324	-0,18	0,2802
Cobertura 2-9 m	0,26	0,0121	-0,09	0,6222	0,13	0,4403
Cobertura 10-20 m	0,26	0,1307	0,05	0,7637	-0,16	0,3642
Cobertura 20-30 m	0,25	0,1465	0,09	0,5979	-0,10	0,5409
Cobertura >30 m	0,15	0,3837	0,09	0,5925	-0,02	0,9020
Cantidad luz dosel	-0,37	0,0274	-0,09	0,5887	-0,10	0,5501
Cantidad hojarasca parcela	-0,16	0,3439	0,40	0,0133	-0,42	0,0105

$p= 0,0274$) y la cantidad de hojarasca en las parcelas registró correlación negativa con la diversidad ($r = -0,14$; $p = 0,0105$) y correlación positiva con la abundancia de anfibios ($r = 0,40$; $p = 0,0133$). Las variables de porcentaje de cobertura de 10 a 20 m, 20 a 30 m y >30 m, tuvieron una correlación no significativa (Cuadro 4).

Análisis de regresión lineal de anfibios en tipologías de Cacao orgánico y bosque natural (abundancia, riqueza y diversidad)

La riqueza de anfibios encontrada en las parcelas de Cacao orgánico y bosque, presentó diferencia significativa ($p = 0,0274$) con la variable estructural cantidad de luz en el dosel

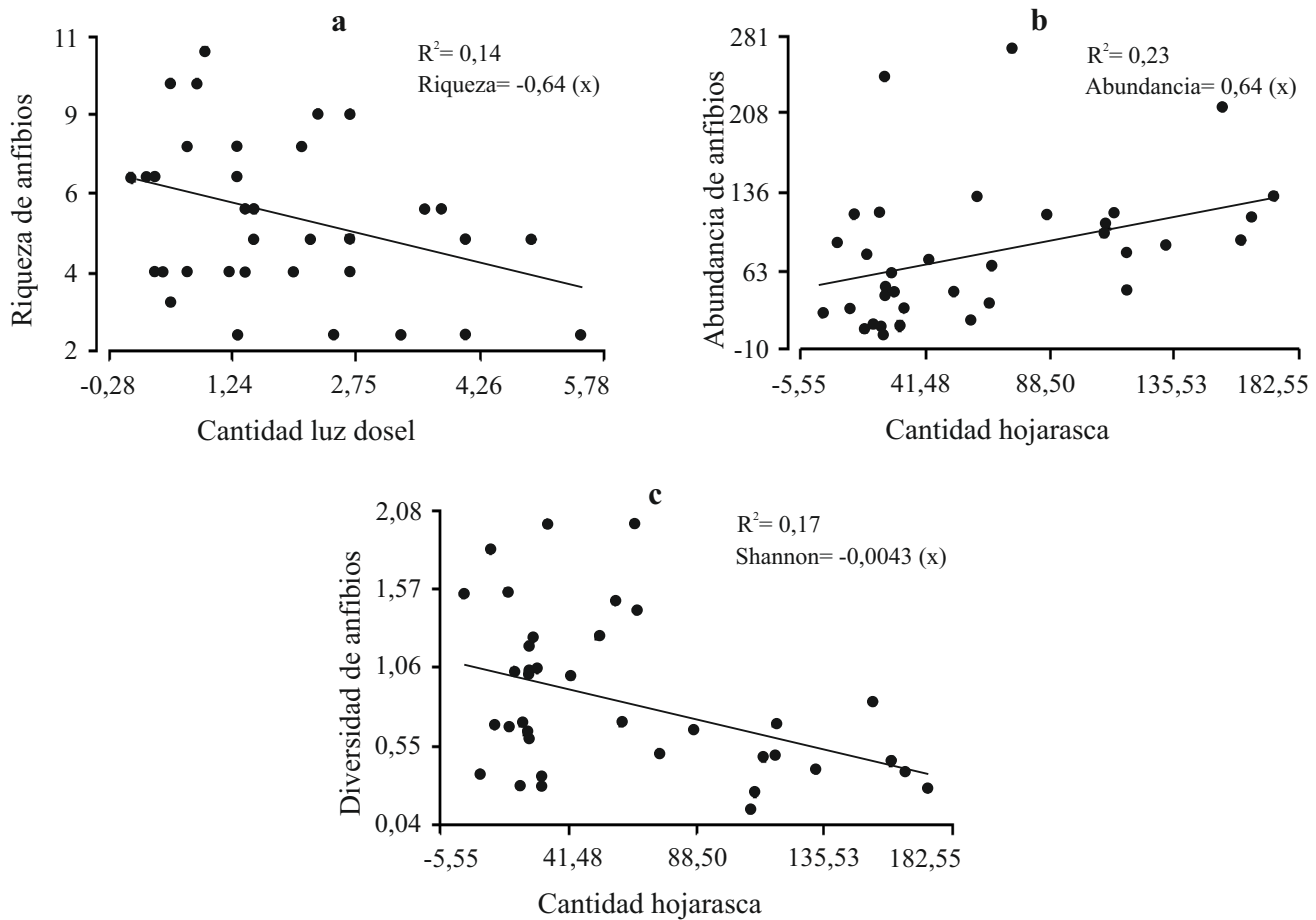


Figura 6. Abundancia, riqueza y diversidad de anfibios en tipologías de Cacao orgánico y bosque natural, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. a. Abundancia, b. Riqueza, c. Diversidad.

con pendiente negativa y con un r^2 que explica el 14% de la variación registrada (Figura 6a). La abundancia de anfibios estuvo relacionada con la variable cantidad de hojarasca en el sustrato ($p= 0,0044$) con un r^2 que explica el 23% de la variación observada (Figura 6b). En cuanto a la diversidad de especies de anfibios, estuvo relacionada con la cantidad de hojarasca en las parcelas ($p= 0,0105$), con pendiente negativa y con un r^2 que explica el 17% de la variación registrada (Figura 6c).

Relación de las variables estructurales con la composición de especies de anfibios

Hubo relación significativa entre las variables estructurales de los tipos de cobertura, con la composición de especies de anfibios (porcentaje de cobertura de vegetación de 20 a 30 m de altura, porcentaje de cobertura de vegetación mayor a 30 m de altura y altitud). La altitud y el porcentaje de cobertura de vegetación mayor a 30 m de altura presentan una relación negativa con la composición de especies de anfibios, lo que indica que entre mayor sea la altitud y el porcentaje de cobertura mayor a 30 m de altura, menor serán las especies compartidas entre de tipologías, o habrá en cada tipología un mayor número de especies únicas. La variabilidad explicada en este modelo es del 30% (Cuadro 3).

Cuadro 3. Relación de las variables estructurales y ambientales con la composición de especies en los tratamientos ($\alpha < 0,05$).

Regresoras	Relación	T	P
Composición			
Cobertura 20-30 m	+	2,38	0,0230
> 30 m	-	-2,92	0,0062

Agradecimientos

Al proyecto Competitividad y Ambiente en los Territorios Cacaoteros de Centroamérica (PCC), por el financiamiento de la investigación cuyo donante es la Embajada de Noruega. A todos los productores de cacao orgánico que permitieron realizar el muestreo en Valle de Risco, Palo Seco y Rio Oeste Arriba, Almirante, Bocas del Toro, Panamá.

Literatura citada

Colwell, RK. 2007. EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Versión 8. Guía de usuario y aplicación disponibles en: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>.

Delabie, JHC; Jahyny, B; Cardoso Do-Nascimento, I; Mariano, CSF.; Lacau, S; Campiolo, S; Philpott, SM; Leponce, M. 2007. Contribution of cocoa plantations to the conservation of native ants (Insecta: Hymenoptera: Formicidae) with a special emphasis on the Atlantic Forest fauna of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 16(8): 2359-2384.

Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. InfoStat versión 2010. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Estrada, A; Coates-Estrada, R; Merritt, D. 1993. Bat species richness and abundance in tropical rain forest garments and in agricultural habitats at Las Tuxtlas, Mexico. *Ecography* 16: 309-318.

Faria, D; Barradas-Paciencia, ML; Dixo, M; Ricardo-Laps, R; Baumgarten, J. 2007. Ferns, frogs, lizard, birds and bats in forest fragment and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic forest, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 16(8): 2335-2357.

Faria, D; Ricardo-Laps, R; Baumgarten, J; Cetra, M. 2006. Bat and Bird assemblages from forest and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic forest of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 15: 587-612.

Gaudrin, C; Harvey, CA. 2003. Caza y diversidad faunística en paisajes fragmentados del territorio indígena Bribe de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 46-51.

Harvey, CA; Gonzalez-Villalobos, JA. 2007. Agroforestry systems conserve species-rich but modified assemblages of tropical birds and bats. *Biodiversity and Conservation* 16(8): 2257-2292.

Heyer, WR.; Donnelly, A; Mcdiarmid, R; Hayek, LA; Foster, M. 1994. *Measuring and Monitoring Biological Diversity: Standard Methods for Amphibians*. Smithsonian Institution Press. Washington. 364 p.

- Holdrige, LR. 1978. Ecología basada en zonas de vida. Serie Libros y materiales educativos IICA. San José, Costa Rica. No 34.
- Magurran, AE. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey, 179 p.
- McCune, B; Mefford, MJ. 1999. Multivariate Analysis of Ecological Data Version 4.25 (PCORD). MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A. 132 p.
- Medellín, RA; Equihua, M; Amin, MA. 2000. Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in neotropical rainforests. *Conservation Biology* 14(6): 1666-1675.
- Parrish, JD; Reitsma, R; Greenberg, R; Skerl, K; McLarney, W; Mack, R; Lynch, J. 1999. El cacao como cultivo y herramienta de conservación en América Latina: frente a las necesidades del agricultor y de la biodiversidad forestal. Documentos de trabajo América Verde. No 3b. The Nature Conservancy, Arlington, Virginia. 44 p.
- Perfecto, I; Rice, RA. Greenberg, R; Vander Voort, M. 1996. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46: 598-608.
- Plan de Manejo del Bosque Protector de Palo Seco. 2003. Autoridad Nacional del Ambiente, ANAM. Ciudad de Panamá, Panamá. 56 p.
- Sánchez, O. 2001. Conservación y manejo de anfibios y reptiles: métodos y técnicas. México. 32 p. Disponible en <http://209.85.165.104/search?q=cache:oc5ZGiVD5GkJ:www.ine.gob.mx/dgoece/di plo>.
- Savage, JM. 2002. Amphibians and Reptiles of Costa Rica: a herpetofauna between two continents, between two continents, between two seas. The University of Chicago Press. Chicago, EU. 934 p.
- Schroth, G; Harvey, CA. 2007. Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: an overview. *Biodiversity and Conservation* 16(8): 2237-2244.
- Simmons, JE. 1987. Herpetological collecting and collections Management, Society For the Study of Amphibians and Reptiles, En: Miscellaneous Publications, Herpetological Circular No. 16. 1-70 p.
- Somarriba, E; Harvey, CA. 2003. ¿Cómo integrar producción sostenible y conservación de biodiversidad en cacaotales orgánicos indígenas? *Agroforestería en las Américas* 10(37-28).
- Somarriba, E; Harvey, C; González, J; Bentes-Gama, M; Suatunce, P; Verte, P. 2007. The conservation of plant diversity in neotropical cocoa plantations. *Biodiversity and Conservation* 16(3): 54-76.
- Suatunce, P; Somarriba, E; Harvey, C; Finegan, B. 2003. Composición florística y estructura de bosques y cacaotales en los territorios indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 31-35.
- Thiollay, JM. 1992. Influence of selective logging on bird species diversity in a Guianan rain forest. *Conservation Biology* 6(1): 47-67.
- Van Bael, SA; Bichier, P; Ochoa, I; Greenberg, R. 2007. Bird diversity in cacao farms and forest fragments of western Panamá. *Biodiversity and Conservation* 16(8): 2245-2256.
- Vaughan, C; Ramírez, O; Herrera, G; Guries, R. 2007. Spatial ecology and Conservation of two sloth species in a cacao landscape in Limon, Costa Rica. *Biodiversity and Conservation* 16(8): 2293-2310.

Rolando Andrés Gutiérrez Zúñiga

Ecólogo, Fundación Universitaria de Popayán. M.Sc. en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad, CATIE (Costa Rica). Consultor internacional en biodiversidad.

Autor para correspondencia

E-mail: rolandogutierrez@yahoo.com

Juan Carlos Suárez Salazar

Ingeniero Agroecólogo, Universidad de la Amazonia (Colombia). M.Sc. en Agroforestería Tropical, CATIE (Costa Rica). Docente investigador de la Universidad de la Amazonia. Miembro activo del grupo de investigación GAIA (Agroecosistemas y Conservación en Bosques Amazónicos).