

Evaluación de la diversidad de anfibios en cultivos de cacao con manejo heterogéneo y un fragmento de bosque en una localidad de la Cordillera Oriental de Colombia

José Luis Pinzón Pinzón

Trabajo de grado para optar al título de Biólogo

Director:

Björn Reu

Doctor en Ciencias Naturales

Tutora:

Martha Patricia Ramírez P.

Doctora en Ciencias Biológicas

Universidad Industrial De Santander

Facultad De Ciencias Básicas

Escuela De Biología

Bucaramanga

2018

Tabla de Contenidos

	Pág
Introducción	10
1. Objetivos	13
1.1 Objetivo general	13
1.2 Objetivos específicos	13
2. Metodología	13
2.1 Área de estudio	13
2.2 Muestreo de anfibios	14
2.3 Medición de variables estructurales y microambientales	17
2.3.1 Estructura de la vegetación.	17
2.3.3 Variables microclimáticas.....	18
2.3.4 Clasificación del manejo de los cultivos.....	18
2.4 Análisis de los datos.....	19
2.4.1 Análisis de la diversidad de anfibios.	19
3. Resultados	21
3.1 Completitud del muestreo	21
3.2 Patrones de diversidad y composición	22
4. Discusión	28

4.1 Patrones de diversidad	28
4.2 Relaciones con las variables ambientales	30
4.2.1 Respuesta individual de las especies a las características ambientales.....	31
4.3 Aspectos metodológicos	34
4.4 Implicaciones para la conservación de las especies.....	35
Referencias bibliográficas.....	38

Lista de Tablas

	Pág
Tabla 1. Completitud del muestreo de acuerdo con las estimaciones de riqueza observadas y calculadas para cada hábitat a través del estimados Chao 2	21
Tabla 2. Resultados del muestreo de anfibios para cada uno de los tres hábitats.....	22
Tabla 3. Valores de los índices de diversidad para los órdenes 0,1 y 2 de los números de Hill estimados a través de rarefacción y extrapolación.....	23

Lista de Figuras

	Pág
<i>Figura 1.</i> Mapa de la zona de estudio mostrando la ubicación de los diferentes hábitats muestreados.....	15
<i>Figura 2</i> Resultados de los análisis de diversidad (órdenes 0, 1 y 2 de los números de Hill) para cada basado en el tamaño muestral.	24
<i>Figura 3.</i> Curva de rango de abundancias para cada uno de los hábitats.	25
<i>Figura 4.</i> Curva de rango de abundancias para cada una de las temporadas de lluvias (meses de mayor y menor precipitación muestreados).	26
<i>Figura 5.</i> Diagrama de ordenamiento (nMDS) basado en la disimilaridad de Bray-Curtis.	27

RESUMEN**TÍTULO: EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE ANFIBIOS EN CULTIVOS DE CACAO CON MANEJO HETEROGÉNEO Y UN FRAGMENTO DE BOSQUE EN UNA LOCALIDAD DE LA CORDILLERA ORIENTAL DE COLOMBIA****AUTOR:** José Luis Pinzón Pinzón ***PALABRAS CLAVE:** Anuros, Diversidad, agroforestales, transformación de hábitat.**Descripción:**

La pérdida de hábitat natural para su destinación a la agricultura afecta a muchas especies animales; los anfibios especialmente son organismos muy sensibles a estos cambios. Los sistemas agroforestales han surgido como una alternativa a la expansión agrícola permitiendo simultáneamente las actividades productivas y la conservación de biodiversidad. Se estudió la diversidad y composición de anfibios en tres hábitats conformados por un fragmento de bosque y cultivos agroforestales de cacao con diferente intensidad de manejo; se midieron parámetros estructurales de cada hábitat para observar la respuesta de la comunidad de anfibios a las variaciones estructurales. Tras 120 horas de muestreo por persona se registraron 691 individuos de 8 especies. La riqueza entre los tres hábitats fue similar, con 6 especies en cada uno. Sin embargo, en términos de equitatividad y dominancia, el fragmento de bosque fue más diverso debido a que los agroforestales tienen una composición de especies más homogénea. Se encontró variación en la composición y un gradiente en la diversidad de anfibios, coincidente con el gradiente de manejo de los hábitats. Las variables más importantes asociadas a estas variaciones en la diversidad y composición de anfibios fueron el índice de área foliar, apertura del dosel y humedad relativa, relacionadas con una mayor heterogeneidad ambiental y el mantenimiento del microclima. Se resalta la importancia de preservar las áreas boscosas y su conectividad con los agroforestales para proteger la diversidad de anfibios en la zona. Dado el crecimiento de la frontera agrícola, los agroforestales de cacao con manejo menos intensivo pueden ser una alternativa para la conservación de anfibios, mayormente para especies generalistas.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ciencias, Escuela de Biología, Director: Björn Reu, Ph.D. Tutora: Martha Patricia Ramírez, Ph.D

ABSTRACT

TITLE: ASSESSMENT OF THE OF AMPHIBIAN DIVERSITY IN COCOA CROPS WITH HETEROGENEOUS MANAGEMENT AND A FOREST FRAGMENT IN A LOCALITY OF THE EASTERN CORDILLERA OF COLOMBIA

AUTHOR: José Luis Pinzón Pinzón *

KEYWORDS: Anurans, Diversity, agroforestry, habitat transformation

Description:

The loss of natural habitat for its destination to agriculture affects many animal species; amphibians in particular are very sensitive to these changes. Agroforestry systems have emerged as an alternative to agricultural expansion, simultaneously allowing productive activities and biodiversity conservation. In this work the diversity and composition of amphibians were studied in three different habitats consisting of a fragment of forest and cocoa agroforestry crops with different management intensity; structural parameters of each habitat were measured to observe the response of the amphibian community to structural variations. After 120 hours of sampling per person, 691 individuals of 8 species were recorded. The richness between the three habitats was similar, with 6 species in each. However, in terms of equity and dominance, the forest fragment was more diverse because agroforestry has a more homogeneous species composition. Variation in composition and a gradient in amphibian diversity were found, coincident with the management gradient of the habitats. The most important variables associated with these variations in amphibian diversity and composition were leaf area index, canopy opening and relative humidity, related to greater environmental heterogeneity and microclimate maintenance. The importance of preserving forested areas and their connectivity with agroforestry is highlighted to protect the diversity of amphibians in the area. Given the growth of the agricultural frontier, cocoa crops with less intensive management can be an alternative for amphibian conservation, mostly for generalist species.

* Bachelor degree work

** Facultad de Ciencias, Escuela de Biología, Director: Björn Reu, Ph.D. Tutora: Martha Patricia Ramírez, Ph.D

Introducción

Casi una tercera parte de las más de 6300 especies de anfibios se encuentran catalogadas como amenazadas de acuerdo con los criterios de la IUCN. La presencia de asentamientos humanos generalmente constituye un riesgo para las poblaciones de anfibios dada la transformación que producen en los ambientes para el uso de estos en actividades productivas. La pérdida y modificación del hábitat han sido identificadas como unas de las causas de mayor contribución a la pérdida de biodiversidad especialmente en anfibios (Stuart et al., 2008).

Dadas las consecuencias de la pérdida y fragmentación de hábitats naturales en la biodiversidad, es necesario comprender cómo responden las especies a los cambios que se producen en el entorno. Adicionalmente, como la red de áreas protegidas a nivel global es de forma general insuficiente para la preservación de muchas especies fuera de estas áreas, con ya cerca de una tercera parte de la superficie terrestre degradada para su destinación a la agricultura (UNCCD., 2017) y con una tendencia su aumento (Firbank et al., 2008), es necesario que se estudie cómo se comportan las especies en zonas modificadas antropogénicamente.

Los ecosistemas intervenidos antropogénicamente tienden a mostrar una tendencia hacia la homogeneización de la composición de las especies, esto es, una disminución en la diversidad original, que es reemplazada por unas pocas especies con mayor abundancia (Cortés-Gómez, Castro-Herrera, y Urbina-Cardona, 2013; Schneider-Maunoury et al., 2016). Las comunidades de anfibios, de forma general, son susceptibles a las variaciones que se producen en el hábitat en el que residen a varias escalas (Calderón-Padrón et al., 2016; Brum et al., 2013), desde pequeñas transformaciones que se producen para la construcción de vías secundarias, a grandes cambios

dada la ampliación de la frontera agrícola (Browne et al., 2009). Sin embargo, las especies de anfibios muestran diferentes respuestas a las modificaciones de sus hábitats (Barrett y Guyer, 2008).

Debido a su particular fisiología, los anfibios tienen una estrecha asociación con valores específicos de variables ambientales como la temperatura o la humedad relativa, por tanto, muchas especies se hallan restringidas a sitios poco alterados; sin embargo, hay especies generalistas que tienen amplia tolerancia a diversas modificaciones del hábitat y pueden estar presentes en más lugares (Pearman, 1997).

Las alteraciones en el hábitat pueden provocar modificaciones a menor escala que afectan el microhábitat y microclima disponible (Gutiérrez-Lamus, Serrano, y Ramírez-Pinilla, 2004). Así, por ejemplo, los cambios estructurales en el hábitat tienen influencia en los microhábitats disponibles para los individuos que viven bajo el dosel, que los exponen a diferentes peligros como puede ser una mayor prevalencia a patógenos (Roznik, Sapsford, Pike, Schwarzkopf, y Alford, 2015), o un mayor riesgo de desecación (Rittenhouse, Harper, Rehard, y Semlitsch, 2008).

Colombia, con 763 especies de anfibios, es el segundo país en el mundo con mayor diversidad de anfibios, 208 de estas están catalogadas bajo algún grado de amenaza (IUCN, 2013). Uno de los factores que causan la mayor amenaza a esta diversidad es la alteración de sus hábitats, los cuales son destinados para actividades relacionadas con la agricultura. Aunque toda actividad humana con fines productivos termina impactando el ambiente, algunas de ellas generan menos cambios drásticos a los ecosistemas naturales; entre estas se encuentran, por ejemplo, la implementación de cultivos agroforestales, que pueden proveer microhábitats adecuados para un buen número de especies y al mismo tiempo permitir la realización de actividades productivas.

En Colombia gran parte de las actividades agrícolas están representadas, entre otras, por plantaciones de café y cacao (Forero-Medina y Joppa, 2010). El impacto de estos dos cultivos en la composición de comunidades de anfibios ha sido evaluado en diferentes zonas a lo largo del Neotrópico y otras regiones con resultados contrastantes. Mientras algunos estudios resaltan el valor de los cultivos de cacao para la conservación de la herpetofauna (Wanger et al., 2009), otros encuentran lo opuesto para los sembradíos de café, especialmente aquellos con bajos niveles de cobertura de dosel (Blumgart, 2017; Murrieta-Galindo, González-Romero, López-Barrera, y Parra-Olea, 2013); estos últimos tienden a presentar menores valores de diversidad (Moguel y Toledo, 1999). Sin embargo, muchos de estos estudios están enfocados de forma general en los valores de riqueza de anfibios, dejando de lado un componente importante de la diversidad como lo es la abundancia de las especies en cada lugar (Chazdon et al., 2009).

En este trabajo se pretendió estudiar el efecto de la transformación del hábitat natural para actividades agrícolas en las comunidades de anfibios en una localidad de la Cordillera Oriental de Colombia; para esto se buscó cumplir con los siguientes objetivos. 1) Determinar la diversidad de anfibios en un fragmento de bosque y cultivos agroforestales de cacao con diferente tipo de manejo; 2) Determinar si existen diferencias entre los hábitats muestreados en términos de diversidad y composición de anfibios; 3) Medir las variables ambientales en cada uno de los hábitats y su relación con la diversidad y composición de anfibios.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Realizar la caracterización de la diversidad de anfibios presentes en sistemas agroforestales y un fragmento de bosque aledaños en el municipio de San Vicente de Chucurí, Santander, Colombia.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar la diversidad, composición y abundancia de las comunidades de anfibios en sistemas agroforestales representados por cultivos de cacao con diferentes tipos de manejo y un fragmento de bosque aledaños a un río.
- Describir las variables físicas, microclimáticas y de microhábitat en los hábitats mencionados.
- Evaluar las variables de cada hábitat que pueden estar determinando la composición, diversidad y abundancia de anfibios en la zona.
- Establecer si existen diferencias entre los valores de riqueza, abundancia y composición de anfibios en los hábitats muestreados.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

El área de estudio se ubicó en la Vereda La Colorada, San Vicente de Chucurí, Santander (6.7963°N, 73.4618°O), cuya extensión es cercana a las 500 ha. La franja altitudinal muestreada

durante este trabajo estuvo comprendida entre los 750 y 1000 msnm. La temperatura media de la zona es de 26 °C. En el lugar existe un pequeño fragmento de bosque secundario de alrededor de 7 ha. cuya vegetación está constituida principalmente por lianas, helechos terrestres, plantas de las familias Melastomataceae, Marantaceae y Arecaceae, además de la presencia de árboles que conforman el estrato superior representados por robles. La economía de la zona se basa en actividades agrícolas, principalmente al cultivo de cacao en pequeñas fincas que varían en su extensión desde 2 hasta 24 ha. Para este estudio, se buscó abarcar los diferentes tipos de manejo de los cultivos de cacao en la zona, que incluyen la presencia de plantaciones mixtas con árboles de cítricos y, en menor medida, plantas de banano dispersas en el cacao; mientras que otro grupo de cultivos son plantaciones de cacao en los cuales no existen otras plantas de consumo o su densidad es mucho menor. El fragmento de bosque se encuentra ubicado entre los 750 y los 800 msnm está rodeado por cultivos agrícolas, mientras los cultivos agroforestales se ubican entre los 770 y los 1000 msnm. La pendiente de la zona es bastante inclinada variando entre 12 y 34°.

2.2 Muestreo de anfibios

En total se ubicaron 12 transectos de 60 m de longitud y 4 m de ancho en la zona de muestreo de la siguiente forma: tres en el fragmento de bosque y nueve transectos en cultivos de cacao representando la variabilidad en el manejo de los cultivos y su intensidad.

Los transectos fueron móviles y rotados durante cada una de las salidas con el fin de reducir la posibilidad de recuento de individuos. Los cuerpos de agua que atraviesan los cultivos son temporales (sólo tienen caudal durante la época de lluvia), aunque sí existe la presencia de un río cercano, aledaño al fragmento de bosque. Por las condiciones del terreno (ej. pendiente bastante

escarpada, ausencia de vegetación en las márgenes del río), el transecto más cercano al río se ubicó a una distancia de 26 m, mientras que en los cultivos el transecto más cercano estuvo a unos 53 m.

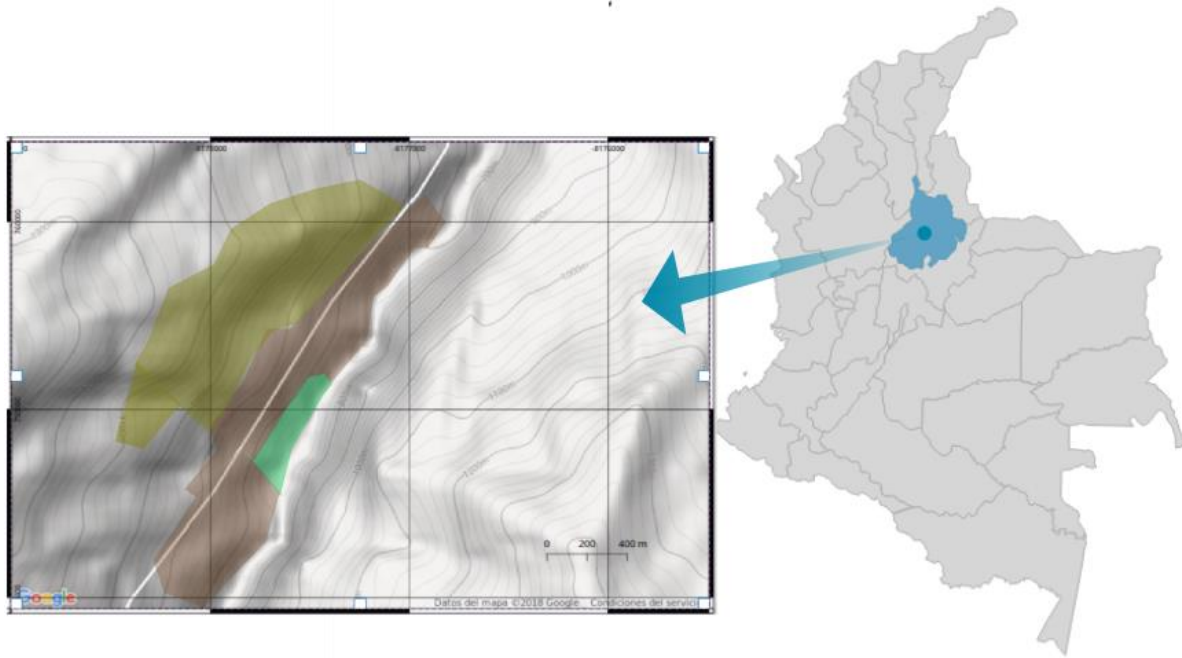


Figura 1. Mapa de la zona de estudio mostrando la ubicación de los diferentes hábitats muestreados. En verde claro se muestra el fragmento de bosque, en oliva el área donde están los cultivos sin sombra y el color marrón corresponde al área de los cultivos sombreados. Tomado de Google Maps.

Durante los meses de abril a agosto de 2017 se realizaron cinco visitas al área de estudio para caracterizar la riqueza y abundancia de anfibios en los diferentes hábitats mediante el uso de los métodos de Búsqueda por Encuentro Visual (VES) (Crump y Scott Jr. 1994) y Auditivo (AES) (Rödel, y Ernst 2004). El método de VES fue usado para registrar individuos hasta una altura máxima de 2 m registrando los diferentes microhábitats donde se pudiesen encontrar individuos; por su parte, el muestreo auditivo se realizó para identificar los cantos de anuros hasta una longitud

aproximada de 12 m del centro del transecto. Estos muestreos se realizaron durante las siguientes horas: 7:00-10:00, 15:00-18:00 y 19:00-23:00 con el fin de registrar especies con hábitos diurnos y nocturnos. Cada una de las salidas duró 4 días y los muestreos fueron llevados a cabo por dos personas en cada ocasión. La etapa de muestreo abarcó meses de temporada lluviosa (abril y mayo, primer pico de lluvias del año) y de la temporada menos lluviosa que le sigue (junio, julio y agosto), que no es la más seca del año.

Previamente al inicio de la etapa de muestreo en campo se revisó la base de datos de la Colección Herpetológica de la Universidad Industrial de Santander con el fin de tener conocimiento de las especies de anfibios reportadas para la zona; adicionalmente, se revisó la literatura correspondiente a la descripción de estas especies para facilitar su identificación. Durante los muestreos los individuos avistados fueron capturados temporalmente, manipulados para su determinación taxonómica y liberados inmediatamente en el mismo sitio donde se encontraron. Previo al inicio de la etapa de muestreo se visitó la zona para documentar los cantos de las especies; estos fueron utilizados para permitir la identificación de las especies a través del reconocimiento de los cantos de aquellos individuos no detectados mediante encuentro visual.

Se registraron también diversas variables ambientales, bióticas y abióticas de la zona que anteriormente han sido usadas para evaluar la respuesta de las comunidades de anfibios al entorno, estas se describen a continuación.

2.3 Medición de variables estructurales y microambientales

2.3.1 Estructura de la vegetación. Se estimó la densidad de la vegetación arbórea en los hábitats mediante el método de Point-Centered-Quarter-Method (PCQM, Mitchell, 2010), discriminando los árboles en dos categorías así: En el bosque se estableció un mínimo de 10 m de altura para los árboles de dosel, árboles con una altura inferior fueron catalogados como correspondientes a subdosel. En los cultivos se aplicó el mismo criterio de altura para los árboles de dosel; los árboles de subdosel fueron únicamente los correspondientes a plantas de cacao. A 5 metros paralelo a cada lado de los transectos usados para el muestreo de anfibios se muestreó la vegetación arbórea mediante este método, ubicando cuadrantes cada 10 m en estas líneas. De acuerdo con la sugerencia de Warde y Petranka (1981), se aplicó un factor de corrección para ajustar el valor calculado según la proporción de cuadrantes vacíos en cada transecto. Con los datos de densidad de árboles obtenidos se procedió a hacer el cálculo del área basal de los dos tipos de árboles en los hábitats.

Cada 10 m se tomaron fotografías hemisféricas para estimar otras variables relacionadas con la estructura de la vegetación. Estas fueron, la apertura del dosel y el índice de área foliar (LAI). Los análisis para este cálculo fueron llevados a cabo en el software Gap Light Analyzer (Frazer, Canham, y Lertzman, 1999).

2.3.2 Estructura de la cobertura terrestre. Para cada transecto se estimó el porcentaje de vegetación viva, roca, hojarasca y suelo desnudo con la ayuda de un marco de madera de 1 m² dividido en cuatro cuadrantes iguales para facilitar la estimación de estas coberturas. El procedimiento fue realizado en seis puntos aleatorios a lo largo del transecto y el valor fue

promediado posteriormente. Se midió el espesor de la capa de hojarasca acumulada en el suelo con la ayuda de una regla y una vara con punta afilada en seis puntos a lo largo del transecto, promediando las mediciones. Las estimaciones de las coberturas terrestres se realizaron durante cada una de las visitas realizadas al lugar.

2.3.3 Variables microclimáticas. Durante cada uno de los muestreos se registraron la temperatura y la humedad relativa en los transectos con el uso de una estación microclimática portátil Skymaster SM-28 en 6 puntos ubicados cada 6 metros a lo largo de cada uno de los transectos.

2.3.4 Clasificación del manejo de los cultivos. Dado el manejo heterogéneo que dan diferentes propietarios a sus cultivos (intra y entre) se procedió a clasificar los transectos en plantaciones de acuerdo con algunas de las variables de estructura vegetal medidas en ellos, estas son: apertura, densidad de la capa de árboles dosel, densidad de árboles de cultivo, índice de área foliar y área basal. Estas variables fueron escaladas y transformadas para que tuviesen una media de 0 y una varianza de 1. Se calculó una matriz de disimilaridad entre los transectos usando distancias euclidianas, posteriormente se realizó un agrupamiento jerárquico de los transectos a partir de esta matriz usando el método de Ward (1963).

Se realizó un análisis de componentes principales a las variables de manejo en los cultivos, seguido de un análisis de agrupamiento con base en los primeros dos componentes principales, que explican cerca del 80 % de la variación, identificando dos “clases” o grupos de cultivos, diferenciados de aquí en adelante como cultivos con sombra y sin sombra. Tras esta clasificación

los cultivos con sombra estuvieron comprendidos por cinco transectos de los nueve originales presentes en los cultivos, mientras que los que conforman el grupo sin sombra por los restantes cuatro.

2.4 Análisis de los datos

2.4.1 Análisis de la diversidad de anfibios. Para evaluar la eficacia en el esfuerzo de muestreo se procedió a usar estimadores de cobertura basados en el número acumulado de especies e individuos en los hábitats con el paquete “iNEXT” (Chao et al., 2014) del software R. Se usaron los números de Hill de orden 0,1 y 2 para estimar mediante rarefacción la riqueza de especies en cada ambiente, así como para realizar el cálculo de medidas de equidad y dominancia. La principal ventaja de usar estos índices sobre otras medidas de diversidad tradicionales es que los números de Hill pueden ser expresados en términos de número efectivo de especies, es decir como el número de especies igualmente abundantes necesarias para que una comunidad muestre el patrón de diversidad muestreado. El índice q de orden 0 corresponde a la riqueza de especies, el índice $q=1$ es equivalente al exponencial del índice de Shannon y el índice de orden $q=2$ representa el inverso del índice de Simpson.

Se graficaron los valores de diversidad calculados a través de rarefacción de acuerdo con el número de individuos y los correspondientes intervalos de confianza de estos índices a través de remuestreo por medio de bootstrap con 100 réplicas.

Para representar gráficamente la distribución de abundancias por especies, para cada hábitat se construyó un diagrama de rango de abundancias (Whittaker, 1965) a partir de las abundancias relativas de cada especie.

2.4.2 Análisis de la composición de especies. Para explorar la distribución de las especies en los hábitats con la matriz de abundancias por transecto, se creó una nueva matriz de disimilaridad usando la distancia semi-métrica de Bray-Curtis. Se ejecutó un análisis de reducción de dimensionalidad con el algoritmo de escalamiento dimensional no métrico (nMDS), en el que se ordenaron los transectos de acuerdo con la abundancia de las especies de anfibios presentes en ellos. Con el fin de evaluar el impacto de las variables ambientales medidas en la composición de anfibios, se efectuó una regresión de los valores de estas variables en los valores de los ejes del ordenamiento, este análisis fue llevado a cabo con la función “envfit” del paquete “vegan” (Oksanen et al., 2007). Previo a los análisis todas las variables ambientales fueron escaladas y centradas con una varianza de 1 y una media de 0.

Posteriormente se llevó a cabo un análisis permutacional de varianza (PERMANOVA) con el fin de evaluar si existen diferencias en la composición de especies de anfibios en los hábitats. Este test se realizó con la función “adonis” del paquete “vegan” con 1000 permutaciones para obtener resultados de significancia con un valor de alfa de 0.05.

En el presente estudio la definición de composición de especies que se adopta corresponde al conjunto particular de especies, incluida su identidad taxonómica, y la abundancia relativa de estas especies en un determinado hábitat a diferencia de la acepción general del término que comprende sólo la identidad taxonómica.

3. Resultados

3.1 Completitud del muestreo

Tras 120 horas de muestreo por persona se registraron un total de 691 individuos, pertenecientes a 8 especies y 5 familias. La eficiencia del muestreo calculada como la diversidad observada en comparación al valor estimado con el uso de rarefacción y extrapolación indicó entre un 66 % y 100% de completitud en cada hábitat (Tabla 1).

Tabla 1.

Completitud del muestreo de acuerdo con las estimaciones de riqueza observadas y calculadas para cada hábitat a través del estimados Chao 2.

Hábitat	Div Observada	Div Estimada	Completitud
Bosque	6	6	100%
C. sombreado	6	6	100%
C. sin sombra	6	8.98	66%

La familia con mayor número de individuos corresponde a Craugastoridae, con cerca del 85% del total de individuos, seguida por Eleutherodactylidae (10.4%) y Dendrobatidae (3.9%). Familias que sólo registraron un individuo (0.14%) fueron Hylidae (*Boana xerophylla*) y Leptodactylidae (*Engystomops pustulosus*) (Tabla 2).

Registros adicionales encontrados fuera de los transectos o en horas donde no se realizó muestreo no se tomaron en cuenta para los análisis posteriores. Una especie no registrada durante

el periodo de muestreo corresponde al género *Colostethus*, observada en pequeños cuerpos de agua temporales a lo largo de los caminos veredales. Otra especie fue *Rhinella marina*, encontrada sólo en proximidades a las viviendas.

Tabla 2.

Resultados del muestreo de anfibios para cada uno de los tres hábitats.

Familia	Especie	Bosque	C. sombreado	C. sin sombra
Hylidae	<i>Boana xerophylla</i>	0	0	1
Eleutherodactylidae	<i>Diasporus anthrax</i>	53	18	1
Leptodactylidae	<i>Engystomops pustulosus</i>	0	1	0
Dendrobatidae	<i>Dendrobates truncatus</i>	18	8	1
Craugastoridae	<i>Craugastor metriosistus</i>	20	84	27
	<i>Pristimantis gaigei</i>	20	31	43
	<i>Pristimantis miyatai</i>	42	152	144
	<i>Pristimantis penelopus</i>	17	0	0
Total especies		6	6	6
Total individuos		170	294	227

3.2 Patrones de diversidad y composición

Los resultados indicaron que existe una mayor diversidad en el fragmento de bosque que en los agroforestales; si bien la riqueza en cada uno de los hábitats mencionados es igual, la equitatividad

es notoriamente mayor en los fragmentos de bosque. Para el orden $q=1$ el bosque fue hasta 1.5 veces más diverso que los agroforestales con sombra y 2 veces más que aquellos sin sombra. Para $q=2$, el bosque fue 1.7 veces más diverso que los cultivos sombreados y 2.2 veces más que los cultivos sin sombra (Tabla 3).

Tabla 3.

Valores de los índices de diversidad para los órdenes 0,1 y 2 de los números de Hill estimados a través de rarefacción y extrapolación.

Hábitat	q0	Rango q0	q1	Rango q1	q2	Rango q2
Bosque	6	6-6	5.36	5.36-5.84	4.82	4.82-5.5
C. sombreado	6	6-7.39	3.4	3.4-3.7	2.74	2.74-3.05
C. sin sombra	6	6.36-30.5	2.59	2.59-2.98	2.13	2.12-2.39

Para la riqueza de especies, los valores calculados de los intervalos de confianza a partir de rarefacción se sobreponen, lo que indica que no existen diferencias entre la riqueza de especies entre los hábitats. En los transectos ubicados en cultivos con manejo más intensivo puede verse que la riqueza de especies estimada no alcanza un valor asintótico con los datos interpolados, indicando que posiblemente alguna(s) especie(s) más pueda(en) agregarse con un mayor esfuerzo de muestreo. Sin embargo, la adición de nuevas especies no afectaría en gran medida los valores de equitatividad y dominancia observados, pues, es de esperar que, en caso de encontrarse especies adicionales, estas tendrían abundancias bajas (Figura 2).

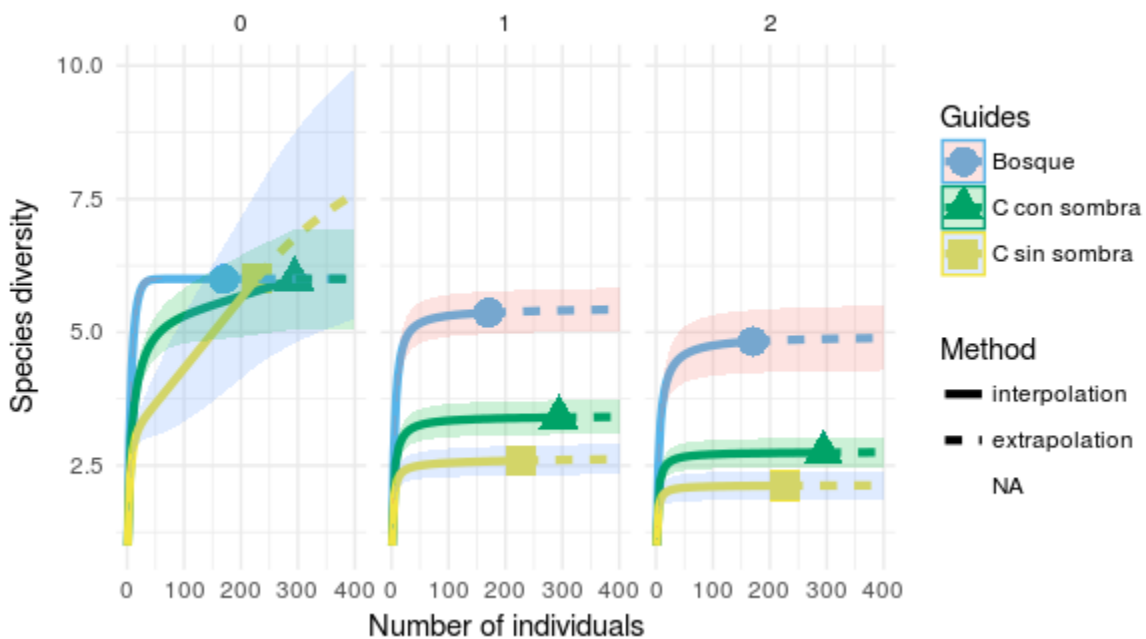


Figura 2. Resultados de los análisis de diversidad (órdenes 0, 1 y 2 de los números de Hill) para cada basado en el tamaño muestral. Las líneas continuas representan los valores estimados por interpolación y las líneas punteadas corresponden a los valores de diversidad extrapolados hasta una abundancia de 400 individuos para cada hábitat. Las franjas corresponden a los valores de los intervalos de confianza (95 %) estimados a través de remuestreo por bootstrap.

La gráfica de rango de abundancias para cada hábitat (Figura 3) evidencia que el fragmento de bosque contiene una comunidad de anfibios mucho más equitativa que en los agroforestales, donde la presencia de individuos del género *Pristimantis* es notoria, principalmente en aquellos cultivos sin sombra. En el bosque ninguna de las especies supera el 50% de los individuos registrados, mientras en las otras dos zonas muestreadas una sola especie representa más de la mitad de la abundancia de estas, siendo en ambos hábitats *P. miyatai* la especie más abundante.

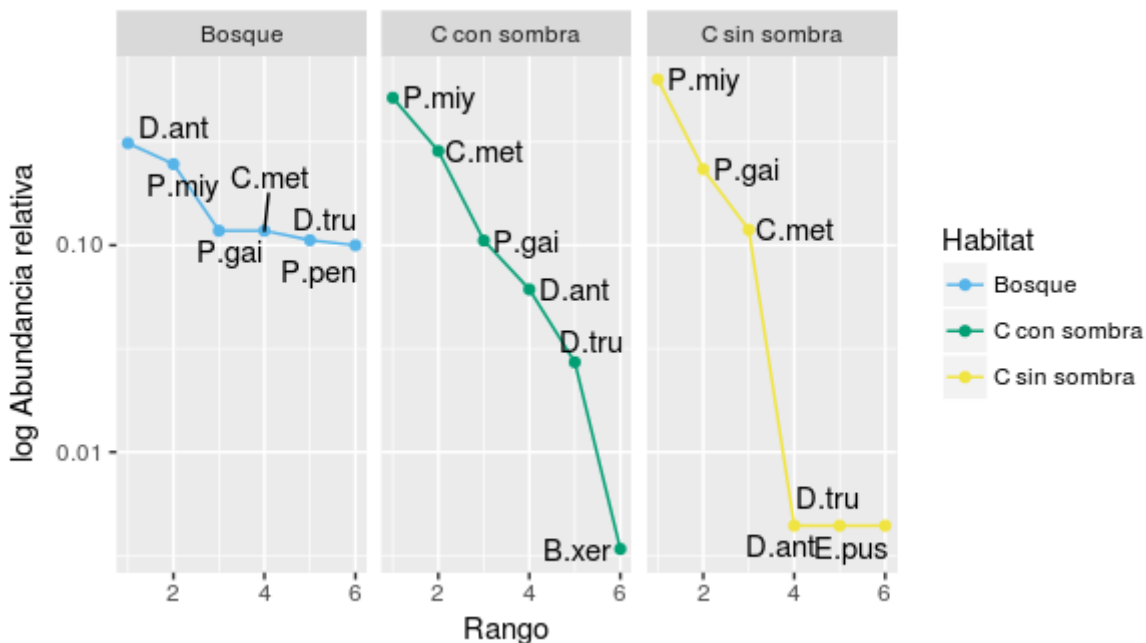


Figura 3. Curva de rango de abundancias para cada uno de los hábitats. Se grafica la abundancia relativa de las especies presentes en escala logarítmica. Los códigos corresponden a: P.miy- P. miyatai, P.pen- P penelopus, P.gai- P. gaigei, C.met - C. metriosistus, D.ant- D. anthrax, B.xer- B. xerophylla, D.tru- D. truncatus y E.pus- Engystomops pustulosus.

Durante los meses lluviosos se registraron las 8 especies de anfibios mencionadas anteriormente en la Tabla 1, siendo dos de ellas (*B. xerophylla* y *E. pustulosus*) encontradas en los transectos exclusivamente durante este tiempo. La dominancia de *P. miyatai* es independiente de la precipitación. En general, los patrones de abundancia relativa se mantuvieron en ambas temporadas, con excepción de las especies *C. metriosistus* y *P. gaigei* (Ver Figura 4).

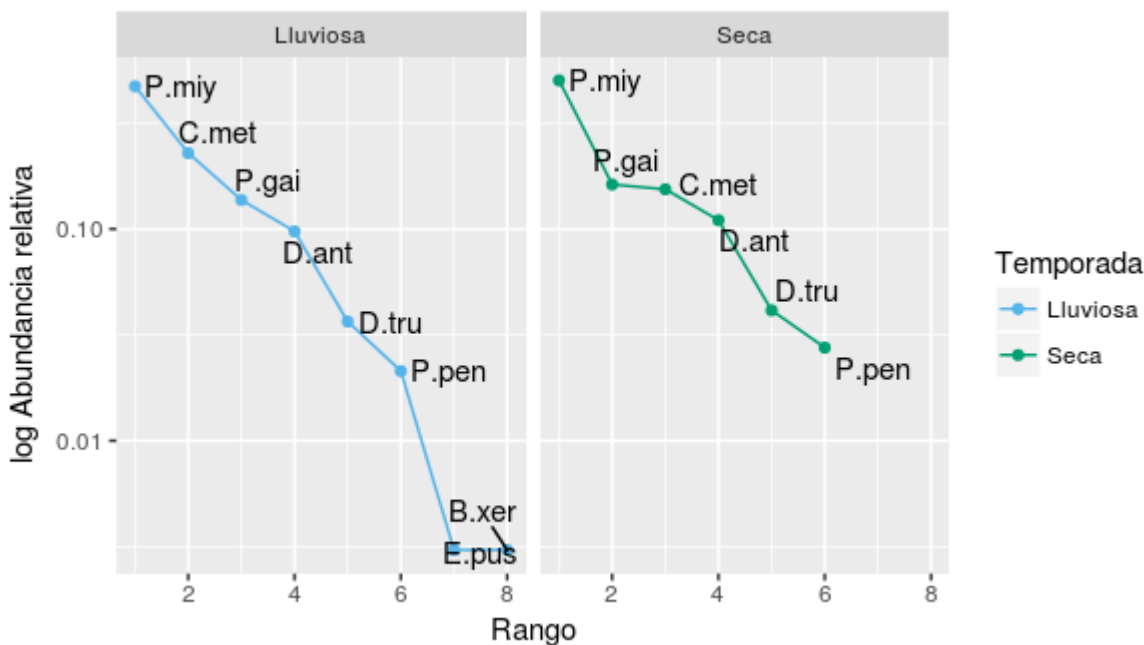


Figura 4. Curva de rango de abundancias para cada una de las temporadas de lluvias (meses de mayor y menor precipitación muestreados). Se grafica la abundancia relativa de las especies presentes en escala logarítmica. P.miy- P. miyatai, P.pen- P penelopus, P.gai- P. gaigei, C.met - C. metriosistus, D.ant- D. anthrax, B.xer- B. xerophylla, D.tru- D. truncatus y E.pus- Engystomops pustulosus.

El análisis de ordenamiento multidimensional no métrico (nMDS) (estrés = 0.078) permitió ver una clara distinción entre los diferentes hábitats de acuerdo con la composición de anfibios presentes en ellos (Fig. 5), reflejando una variación en la composición de las especies que está estrechamente relacionada con el gradiente estructural de los hábitats de acuerdo con su tipo de manejo. Se obtuvo correlaciones significativas de cinco variables ambientales cuantificadas durante la fase de campo. Estas correspondieron a la densidad de los árboles de subdosel (cultivo), altura de los árboles de dosel, apertura del dosel, índice de área foliar y humedad relativa.

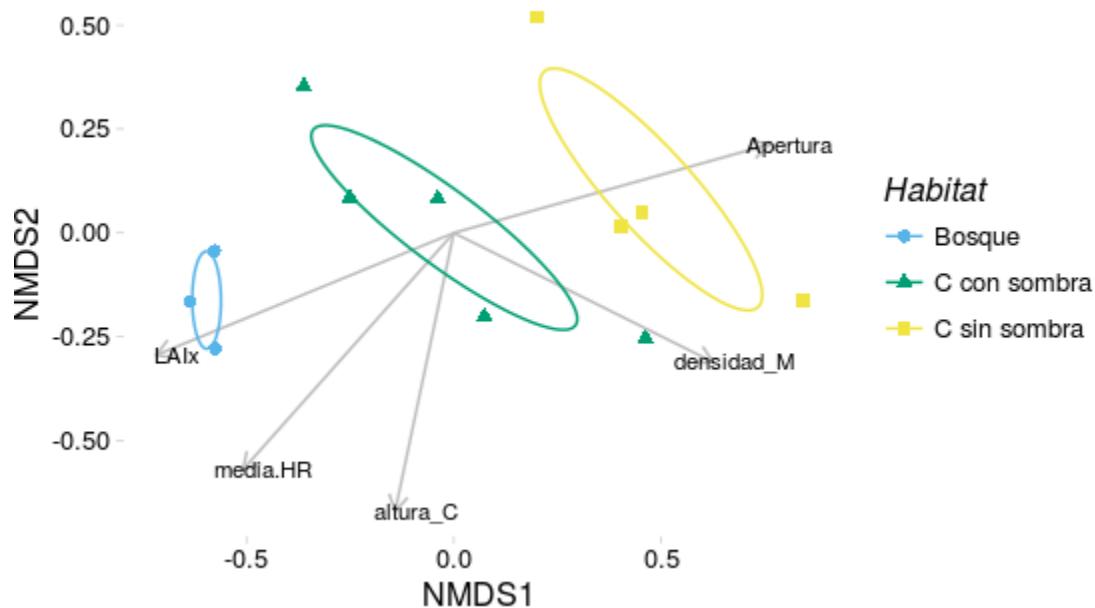


Figura 5. Diagrama de ordenamiento (nMDS) basado en la disimilaridad de Bray-Curtis. Se muestran los vectores correspondientes a las variables con correlación significativa ($p < 0.05$) con respecto a los ejes del ordenamiento. Las elipses representan los intervalos de confianza del 95 %. Abreviaciones utilizadas: altura_C: Altura de los árboles del dosel, Apertura: Apertura del dosel, densidad_M: densidad de los árboles del sustrato medio, LAIx: índice de área foliar, media_HR: Humedad relativa media.

El análisis permutacional de varianza indicó que existen diferencias significativas ($F=3.8671$, $p < 0.05$) en la composición de especies de acuerdo con el manejo que dan los pobladores de la zona a los diferentes hábitats.

4. Discusión

De forma general se observó que la diversidad de anfibios entre los diferentes lugares muestreados es diferente, pudiendo observarse un gradiente. La mayor diversidad de anuros se encontró en el fragmento de bosque, seguido por los agroforestales de cacao con sombra y por último los cultivos de cacao sin sombra. Las diferencias en diversidad entre los tres hábitats se deben a la equidad y no a diferencias en la riqueza. Igualmente, estas diferencias se relacionan con la estructura vegetal y relaciones microclimáticas de los tres hábitats estudiados; parámetros como la densidad de árboles de cultivo, la humedad relativa y la altura del dosel son los determinantes de las diferencias en la diversidad encontradas.

4.1 Patrones de diversidad

De acuerdo con Colwell et al. (2012) los intervalos de confianza de métodos de rarefacción basados en individuos permiten ver si existen o no diferencias significativas en los valores de diversidad calculados con estos métodos cuando estos no se superponen. El hecho de que para los órdenes 1 y 2 de los números de Hill los intervalos de confianza para los valores asintóticos no se superpongan indica que existen diferencias notorias entre los tres hábitats, siendo el bosque mucho más diverso, seguido de los agroforestales con sombra y por último los agroforestales sin sombra. Esto refleja que el manejo agrícola más intensivo tiene una influencia negativa mayor en la diversidad de anfibios.

En relación con la riqueza de anfibios, los resultados son iguales para todos los hábitats en términos de los valores observados, no así para los otros índices. Esto puede ser debido a que no

se detectaron con eficiencia otras especies que pudiesen estar en la zona, como indica el valor del orden $q = 0$ para los agroforestales con manejo más intensivo. Sin embargo, aunque los resultados de la cobertura del muestreo basados en el número de individuos indican que esta es alta en el fragmento de bosque y en los cultivos con sombra, es probable que los métodos utilizados no sean suficientes para obtener un registro más amplio de especies de anfibios pues allí el indicador Chao sugiere que sólo se registró el 66% de las especies estimadas. Se ha sugerido que la combinación de los métodos usados con otros secundarios y terciarios (e.g. el uso de trampas pitfall) ayuda a la detección de especies de una forma más robusta (Hutchens y DePerno, 2009). Sin embargo, debido a la característica invasiva propia de estos métodos y la intervención que podrían hacer en los cultivos, esta técnica no es muy recomendada. A pesar de esta posible falencia en la detección de especies, los resultados de diversidad para los índices $q=1$ y $q=2$ no se verían alterados, pues es de esperar que estas especies poco comunes tengan abundancias bajas.

El bosque presentó una mayor equitatividad en la abundancia de especies, mientras que en los cultivos agroforestales una sola especie comprende más del 50 % de los individuos registrados en estos dos hábitats. Este patrón es aún más notorio en los agroforestales sin sombra, pues *P. miyatai* comprende cerca del 62 % del total de individuos, lo que refleja la tendencia hacia la homogeneización de las comunidades de anfibios presentes en ambientes con marcada modificación antrópica, ya detectada en el Neotrópico y en diferentes regiones del mundo en aspectos taxonómicos y filogenéticos (Cortés-Gómez, Castro-Herrera, y Urbina-Cardona, 2013; Nowakowski, Frishkoff, Thompson, Smith, y Todd, 2018

4.2 Relaciones con las variables ambientales

Muchas de las especies de anfibios dependen de las comunidades vegetales, ya sea como fuente de alimento, refugio, o como sustrato para la realización de actividades relacionadas con el apareamiento. La modificación de la estructura vegetal nativa para las plantaciones conlleva a la aparición de nuevos ambientes que pueden no satisfacer adecuadamente los requerimientos de todas las especies, (ej., especies que viven en las capas superiores del dosel, dada la reducida altitud del dosel de los cultivos), afectación de la densidad de árboles, o modificación en la disponibilidad de capas de hojarasca son comunes en los cultivos (Ong'Oa et al., 2013) y consecuentes alteraciones en el microclima que también impactan a los anfibios (Becker et al., 2016).

Aunque de forma inmediata la modificación de los hábitats no implica la extinción de las comunidades de anfibios presentes en estos, sí puede alterar su abundancia, que es uno de los primeros pasos para la formación de poblaciones no viables (Cahill et al., 2012). Por ejemplo, la modificación humana puede alterar la composición de insectos que constituyen una de las presas más comunes de los anfibios (Brodman, 2009).

Los resultados obtenidos con relación a la estructura de la vegetación resaltan la importancia de una suficiente cantidad de sombra y una mayor complejidad estructural de la vegetación para la diversidad de anfibios, lo que está de acuerdo con el estudio de Illescas-Aparicio, Clark-Tapia, González-Hernández, Vásquez-Díaz, y Aguirre-Hidalgo (2016) en estudios llevados a cabo en bosques de manejo forestal y áreas de cultivo. Variables relacionadas con la estructura vegetal se relacionaron con la diversidad encontrada en los tres hábitats comparados. Por ejemplo, el índice de área foliar (LAI), densidad de árboles, y su efecto sobre la humedad relativa. Aunque la importancia del LAI no se ha mostrado previamente como un factor que determine directamente

la composición de anfibios, sí se ha mostrado su influencia en términos de la variabilidad en el microclima existente bajo el dosel. Los resultados concernientes a la apertura del dosel coinciden con los de Wanger et al. (2010), la apertura es un factor importante en la determinación de la composición de anfibios ya que estos tienden a evitar la exposición directa al sol para prevenir la desecación. Así como en nuestros resultados, la importancia del microclima en la abundancia de los anfibios ha sido demostrada en estudios como los de Lehtinen, Ramanamhato, y Raveloarison (2003) y Krieger (2016), principalmente para organismos especialistas, siendo estos más vulnerables a pequeñas modificaciones en las características estructurales de sus hábitats.

4.2.1 Respuesta individual de las especies a las características ambientales. De acuerdo con Nowakowski, Thompson, Donnelly, y Todd (2017) las especies de Craugastoridae y Dendrobatidae tienen una alta sensibilidad a las modificaciones que se producen en sus hábitats. Aunque *D. truncatus* ha sido encontrada en otro tipo de plantaciones, en las que se incluyen cultivos de plátano, se requiere que estos hábitats no estén completamente despejados, manteniendo un nivel de sombra adecuado, esto en parte debido a que se trata de una especie de hábitos diurnos (Erazo Londoño, Ruano Meneses y López Peña., 2017).

Aunque de forma general las especies de Craugastoridae son vulnerables a la modificación de sus hábitats (Nowakowski, Thompson, Donnelly y Todd, 2017), esta vulnerabilidad no es similar en todas sus especies. Las especies de este clado cuya abundancia en este estudio se encuentra en mayor proporción en el fragmento de bosque son *C. metriosistus* y *P. penelopus* (exclusiva), mientras que las otras dos especies de la familia (*P. miyatai* y *P. gaigei*) son ampliamente generalistas.

P. miyatai fue una especie muy abundante en la zona y particularmente en los cultivos. Esta es una especie generalista dado la ocupación que hace de los diferentes hábitats (IUCN, 2017). La especie es de amplia distribución y muy abundante en la vertiente Occidental de la Cordillera Oriental de Colombia, ha sido encontrada más frecuentemente dentro de plantaciones agroforestales que en fragmentos de bosque (Lynch, 1994), y ha sido clasificada como generalista en el uso de los recursos de dieta y microhábitat (Arroyo, Serrano-Cardozo y Ramírez-Pinilla, 2008; Gutiérrez-Lamus, Serrano y Ramírez-Pinilla, 2004).

D. anthrax es una especie catalogada con datos deficientes por la IUCN, y ha sido reportada previamente en bosques secundarios (Jiménez-Rivillas, Vargas, Fang, Filippo, y Daza, 2013; Duarte-Cubides y Cala-Rosas, 2012). En este estudio se encontró dentro de las plantaciones agroforestales, aunque en menor medida. Su presencia en áreas protegidas es desconocida, por lo cual se hace necesario conservar los pequeños fragmentos de bosque que albergan el mayor número de registros de esta especie, ya que este fue el hábitat donde esta especie fue abundante.

Una especie reportada como con una buena resistencia a los cambios en su hábitat es *B. xerophylla* (Orrico et al., 2017), sin embargo, en este estudio el único registro fue durante la época con mayor precipitación, en la cual las fuentes de agua temporales presentaban su mayor caudal, este hecho es de esperar ya que la especie necesita de agua para el desarrollo de sus renacuajos.

En la región de estudio se han efectuado previamente otros muestreos en una franja altitudinal superior, desde los 1000 hasta los 1500 msnm, abarcando cultivos agroforestales de cacao, café, humedales, pastizales y también fragmentos de bosque (Brüning et al., 2018; Aceros, 2017). En estos estudios, a diferencia del presente, son los agroforestales los hábitats que contienen la mayor diversidad de anfibios, lo que indica que incluso a escala local la variación es importante.

Las limitaciones propias de las especies y sus relaciones con el clima, como una temperatura, humedad y altitud adecuadas para su ocurrencia pueden ser los factores que determinan las diferencias en composición y diversidad entre estos estudios y el muestreo realizado para este trabajo. En esa banda altitudinal se encuentran otras especies como lo son *Pristimantis bacchus*, *Andinobates virolinensis* y *Bolitoglossa yariguiensis*, cuyo rango altitudinal reportado no hace posible avistarlas en la franja comprendida en este trabajo (Acosta Galvis, 2017). Otras especies como *Dendropsophus subocularis*, *Agalychnis terranova*, registradas en los estudios mencionados, tienen una distribución altitudinal que podría incluirlas en la zona de estudio de este trabajo; sin embargo, ambas especies se localizan en alrededores de cuerpos de agua permanentes donde se desarrollan sus renacuajos. En el área que comprendió este estudio, los cuerpos de agua presentes en la zona son temporales y así sólo unas pocas especies de este tipo de microhábitats pudieron ser detectadas y sólo en los meses de lluvias.

Cuando se comparan los estudios realizados para la zona (Aceros, 2017; Brüning et al., 2018, presente estudio) se observa que, aunque la composición de las especies de estos estudios es diferente, posiblemente relacionada con la altitud de las zonas evaluadas, la diversidad es más alta en las zonas con mayor cantidad de sombra dentro de los agroforestales, y se compone principalmente de especies generalistas. Sin embargo, también difieren en que los fragmentos de bosque que, con menor riqueza que en los agroforestales en el caso de Brüning et al. (2018) o con mayor riqueza de especies en el caso de Aceros (2017), resultaron ser menos diversos que los agroforestales en términos de equitatividad, mostrando un claro contraste con lo hallado en este estudio. No sólo la elevación puede ser causante de los cambios en el conjunto particular de especies de la zona, las variables más determinantes en la composición de especies difieren también entre el presente estudio y el de Brüning et al. (2018). En este último, parámetros como

el espesor de la capa de hojarasca, la proporción de suelo cubierto por rocas y la distancia a cuerpos de agua se encuentran entre las más importantes para explicar la diversidad beta de la zona.

4.3 Aspectos metodológicos

Además de los ya mencionados aspectos metodológicos relacionados a los métodos de muestreo utilizados, los resultados obtenidos pueden estar influenciados por diferentes factores adicionales durante la fase de muestreo. Si bien los transectos fueron movidos durante las diferentes salidas de campo para minimizar la posibilidad de recaptura, esto no garantiza completamente que no haya habido individuos contados en múltiples ocasiones, lo que podría tener un efecto de sobreestimación de la abundancia.

A diferencia de estudios anteriores (Onadeko, 2016; Wanger et al., 2009), en donde la mayor riqueza de especies se encuentra concentrada en los bosques, en este trabajo el número de especies se encuentra igualmente representado en los diferentes hábitats evaluados. Este resultado podría ser atribuido en el presente estudio a factores espaciales ya que el área del fragmento de bosque, que en comparación a la extensión de los cultivos agroforestales en la zona es bastante reducida.

Así mismo, los valores de riqueza similares entre los tres hábitats podrían estar asociados con cierto grado de artificialidad al realizar el análisis de agrupamiento de los agroforestales de acuerdo con su manejo, como señala el estudio de Deheuvels et al. (2014). Así, es posible que esta clasificación no represente condiciones microambientales importantes para las especies de anuros, y por tanto obtener un agrupamiento diferente en el que los valores de riqueza encontrados en estos sistemas serían alterados. Adicionalmente, podría darse también el caso de que la clasificación de

los agroforestales fuese diferente si se modificara el número de transectos de cultivos de cacao analizados, alterando la igualdad encontrada entre los valores de riqueza.

Sin embargo, la riqueza no es el único indicador para evaluar cuando se estudia la diversidad. Las diferencias en composición y diversidad en términos de equitatividad y dominancia demuestran diferencias significativas que sí corresponden con lo encontrado en estudios previos como el de Cortés-Gómez, Castro-Herrera, y Urbina-Cardona (2013), quienes observaron que la transformación de sistemas naturales a agroecosistemas conllevó a la homogeneización en la composición de individuos, lo que hace que las mayores abundancias sean sólo de unas pocas especies, como se ve en los agroforestales muestreados en este estudio.

4.4 Implicaciones para la conservación de las especies

El valor de las áreas de cultivo para la conservación de anfibios puede verse de forma comparativa entre cultivos con diferentes tipos de manejo o su diferencia con la composición encontrada en los bosques, bien sean nativos o secundarios. Aunque los valores de riqueza sean los mismos para cada hábitat, los índices que toman en cuenta la composición y diversidad de especies en cada uno indican que el fragmento de bosque es más diverso, por lo cual la importancia de este hábitat es remarcable. Adicionalmente, se puede observar que la existencia de un gradiente en el manejo de los hábitats se refleja también en la diversidad de especies de anfibios. De acuerdo con de Andrade et al. (2013), a escala local, la composición de especies es un mejor indicador de la biodiversidad que la riqueza en varios grupos de animales, incluidos los anfibios.

Según Albornoz-Espinel, Acevedo-Rincón, y Cáceres-Martínez (2017), el conjunto de áreas protegidas en la Cordillera Oriental es ineficiente para albergar buena parte de la diversidad de

anfibios amenazados en la región. Aunque el área de estudio se encuentra ubicada dentro de la zona de amortiguación del P.N.N. Serranía de los Yariguíes, la capacidad de los cultivos agroforestales de cacao y del fragmento de bosque en el área de estudio para alojar especies amenazadas en esta altitud no es adecuada y suficiente (ninguna de las especies registradas en el estudio se encuentra en algún grado de amenaza). Sin embargo, sí tienen importancia cuando se tienen en cuenta las diferencias en diversidad beta encontradas en la zona. Este análisis hace evidente que, al momento de sugerir potenciales medidas para la conservación de las especies, las decisiones deben ser tomadas no sólo con base en el número de especies presentes en cada hábitat, sino teniendo en cuenta la complementariedad que existe entre hábitats en términos de la composición de la comunidad de anfibios.

5. Conclusiones

En general ningún hábitat alberga la totalidad de las especies de anfibios encontradas en la zona de estudio durante la etapa de muestreo, por lo cual se hace necesario prestar atención a cada uno de ellos para evitar la pérdida de especies a escala local.

Los fragmentos de bosque deben ser los hábitats prioritarios de conservación si se busca maximizar la diversidad en términos de riqueza y equitatividad, adicionalmente, es importante preservar la conectividad entre estos fragmentos y los cultivos agroforestales.

La relación entre los parámetros estructurales, la variación microclimática y el manejo de los cultivos permite la efectiva identificación de atributos ambientales que pueden determinar la composición y diversidad de anfibios en sistemas agroforestales. Basados en este conocimiento

se pueden desarrollar estrategias de manejo en los agroforestales que permitan establecer un equilibrio entre la producción agrícola y la conservación de anfibios.

Dada la creciente extensión de la frontera agrícola, los sistemas agroforestales de cacao con unos niveles de sombra adecuados representan una alternativa a la deforestación para la conservación de anfibios en términos de riqueza de especies, aunque en su mayoría para aquellas especies generalistas.

Referencias bibliográficas

- Aceros, L. P. (2017). *Evaluación de la diversidad de anfibios en agroforestales y un fragmento de bosque húmedo tropical submontano en san vicente de chucurí*. Universidad Industrial de Santander.
- Acosta Galvis, A. R. 2017. Lista de los Anfibios de Colombia: Referencia en línea V.07.2017.0 (Consultado en 20 de mayo 2018). Página web accesible en <http://www.batrachia.com>; Batrachia, Villa de Leyva, Boyacá, Colombia.
- Albornoz-Espinel, M. M., Acevedo-Rincón, A. A., y Cáceres-Martínez, C. H. (2017). Assessment of protected areas for the conservation of threatened amphibians in the Eastern cordillera of Colombia. *Herpetology Notes*, 10, 685–696.
- Arroyo, S. B., Serrano-Cardozo, V. H., y Ramírez-Pinilla, M. P. (2008). Diet, microhabitat and time of activity in a *Pristimantis* (Anura, Strabomantidae) assemblage. *Phyllomedusa*, 7(2), 109–119.
- Barrett, K., y Guyer, C. (2008). Differential responses of amphibians and reptiles in riparian and stream habitats to land use disturbances in western Georgia, USA. *Biological Conservation*, 141(9), 2290–2300.
- Becker, C. G., Rodriguez, D., Longo, A. V, Toledo, L. F., Lambertini, C., Leite, D. S., ... Zamudio, K. R. (2016). Deforestation, host community structure, and amphibian disease risk. *Basic and Applied Ecology*, 17(1), 72–80.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.baae.2015.08.004>

- Blumgart, D., Dolhem, J., y Raxworthy, C. J. (2017). Herpetological diversity across intact and modified habitats of Nosy Komba Island, Madagascar. *Journal of Natural History*, 51(11–12), 625–642.
- Brodman, R. (2009). A 14-year study of amphibian populations and metacommunities. *Herpetological Conservation and Biology*, 4, 106–119.
- Browne, C. L., Paszkowski, C. A., Lee Foote, A., Moenting, A., y Boss, S. M. (2009). The relationship of amphibian abundance to habitat features across spatial scales in the Boreal Plains. *Ecoscience*, 16(2), 209–223.
- Brum, F. T., Gonçalves, L. O., Cappelatti, L., Carlucci, M. B., Debastiani, V. J., Salengue, E. V., da Silva Duarte, L. (2013). Land Use Explains the Distribution of Threatened New World Amphibians Better than Climate. *PLoS ONE*, 8(4).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060742>
- Brüning, L. Z., Krieger, M., Meneses-Pelayo, E., Eisenhauer, N., Ramírez-Pinilla, M. P., Reu, B., y Ernst, R. (2018). Land-use heterogeneity by small-scale agriculture promotes amphibian diversity in montane agroforestry systems of northeast Colombia. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 264, 15–23.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.05.011>
- Cahill, A. E., Aiello-Lammens, M. E., Fisher-Reid, M. C., Hua, X., Karanewsky, C. J., Yeong Ryu, H., ... Wiens, J. J. (2012). How does climate change cause extinction? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.1890>

- Calderón-Patrón, J. M., Goyenechea, I., Ortiz-Pulido, R., Castillo-Cerón, J., Manriquez, N., Ramírez-Bautista, A., ... Moreno, C. E. (2016). Beta diversity in a highly heterogeneous area: disentangling species and taxonomic dissimilarity for terrestrial vertebrates. *PloS One*, *11*(8), e0160438.
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., y Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, *84*(1), 45–67.
- Chazdon, R. L., Peres, C. A., Dent, D., Sheil, D., Lugo, A. E., Lamb, D., ... Miller, S. E. (2009). The potential for species conservation in tropical secondary forests. *Conservation Biology*, *23*(6), 1406–1417. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01338.x>
- Colwell, R. K., Chao, A., Gotelli, N. J., Lin, S.-Y., Mao, C. X., Chazdon, R. L., y Longino, J. T. (2012). Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. *Journal of Plant Ecology*, *5*(1), 3–21. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1093/jpe/rtr044>
- Cortés-Gómez, A. M., Castro-Herrera, F., y Urbina-Cardona, N. (2013). Small changes in vegetation structure create great changes in amphibian ensembles in the Colombian Pacific rainforest. *Tropical Conservation Science*, *6*(6), 749–769.
- de Andrade, R. B., Barlow, J., Louzada, J., Mestre, L., Silveira, J., Vaz-de-Mello, F. Z., y Cochrane, M. A. (2014). Biotic congruence in humid tropical forests: a multi-taxa examination of spatial distribution and responses to forest disturbance. *Ecological Indicators*, *36*, 572–581.

- Deheuvels, O., Rousseau, G. X., Quiroga, G. S., Franco, M. D., Cerda, R., Mendoza, S. J. V., y Somarriba, E. (2014). Biodiversity is affected by changes in management intensity of cocoa-based agroforests. *AgroForestry Systems*, 88(6), 1081–1099.
- Duarte-Cubides, F., y Cala-Rosas, N. (2012). Amphibia, Anura, Eleutherodactylidae, *Diasporus anthrax* (Lynch, 2001): New records and geographic distribution. *Check List*, 8(2), 300–301.
- Erazo Londoño, J. P., Ruano Meneses, L. A., y López Peña, A. (2017). Comparación entre dieta y composición de alcaloides de *Dendrobates truncatus* (Dendrobatidae) entre dos zonas con diferentes grados de perturbación en un bosque seco. *Revista de Ciencias*, 20(2), 13.
- Firbank, L. G., Petit, S., Smart, S., Blain, A., y Fuller, R. J. (2008). Assessing the impacts of agricultural intensification on biodiversity: a British perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 777–787.
- Forero-Medina, G., y Joppa, L. (2010). Representation of global and national conservation priorities by Colombia's protected area network. *PLoS ONE*, 5(10), 1–11.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013210>
- Frazer, G. W., Canham, C. D., y Lertzman, K. P. (1999). Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. *Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York*, 36.

- Gutiérrez-Lamus, D., Serrano, V., y Ramírez-Pinilla, M. (2004). Composición y abundancia de anuros en dos tipos de bosque (natural Y cultivado) en la Cordillera Oriental colombiana. *Caldasia*, 26(1), 245–264.
<http://www.jstor.org/discover/10.2307/23641797?uid=3737808yuid=2yuid=4ysid=21105250899933>
- Hutchens, S. J., y DePerno, C. S. (2009). Efficacy of sampling techniques for determining species richness estimates of reptiles and amphibians. *Wildlife Biology*, 15(2), 113–122.
- Illescas-Aparicio, M., Clark-Tapia, R., González-Hernández, A., Vásquez-Díaz, P. R., y Aguirre-Hidalgo, V. (2016). Diversidad y riqueza herpetofaunística asociada al bosque de manejo forestal y Áreas de cultivo, en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Acta Zoológica Mexicana*, 32, 359–369. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextpid=S0065-17372016000300359ynrm=iso
- IUCN SSC Amphibian Specialist Group. 2017. (2017). *Pristimantis miyatai*.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T56768A85868782.en>
- Jiménez-Rivillas, C., Vargas, L. M., Fang, J. M., Filippo, J. Di, y Daza, J. M. (2013). Advertisement call of *Diasporus anthrax* (Lynch, 2001) (Anura: Eleutherodactylidae) with comparisons to calls from congeneric species. *South American Journal of Herpetology*, 8(1), 1–4.
- Krieger, W. (2016). *Effects of management on the complexity, diversity and structure of tree species assemblages and diversity of amphibians in coffee and cacao agroforests in San Vicente de Chucurí*. Leipzig University.

- Lehtinen, R. M., Ramanamanhato, J.-B., y Raveloarison, J. G. (2003). Edge effects and extinction proneness in a herpetofauna from Madagascar. *Biodiversity and Conservation*, *12*, 1357–1370.
- Lynch, J. D. (1994). A new species of frog (Genus *Eleutherodactylus*: Leptodactylidae) from a Cloud Forest in departamento de Santander, Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *19*(72), 205–208.
- Mitchell, K. (2010). Quantitative analysis by the point-centered quarter method. *ArXiv Preprint ArXiv:1010.3303*.
- Moguel, P., y Toledo, V. (1999). Biodiversity Conservation in Traditional Coffee Systems of Mexico. *Conservation Biology*, *13*, 11–21.
- Murrieta-Galindo, R., González-Romero, A., López-Barrera, F., y Parra-Olea, G. (2013). Coffee agrosystems: an important refuge for amphibians in central Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems*, *87*(4), 767–779. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9595-z>
- Nowakowski, A. J., Frishkoff, L. O., Thompson, M. E., Smith, T. M., y Todd, B. D. (2018). Phylogenetic homogenization of amphibian assemblages in human-altered habitats across the globe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201714891.
- Nowakowski, A. J., Thompson, M. E., Donnelly, M. A., y Todd, B. D. (2017). Amphibian sensitivity to habitat modification is associated with population trends and species traits. *Global Ecology and Biogeography*, *26*(6), 700–712.
- Oksanen, J., Kindt, R., Legendre, P., O'Hara, B., Stevens, M. H. H., Oksanen, M. J., y Suggests, M. (2007). The vegan package. *Community Ecology Package*, *10*, 631–637.

- Onadeko, A. B. (2016). Effect of Cocoa (*Theobroma cacao*) Plantation Types on the Distribution of Anuran Communities in Ore, Ondo State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 20(1), 13–22.
- Ong’Oa, D. O., Ng’Endo, R. N., Muya, S. M., Nyoike, M. M., Malomz, P. K., y Osiemo, Z. L. (2013). Diversity and abundance patterns of amphibians in rehabilitated quarries of Bamburi near Mombasa (Kenya). *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*, 15(1), 61–72.
- Orrico, V. G. D., Nunes, I., Mattedi, C., Fouquet, A., Lemos, A. W., Rivera-Correa, M., ... others. (2017). Integrative taxonomy supports the existence of two distinct species within *Hypsiboas crepitans* (Anura: Hylidae). *Salamandra*, 53(1), 99–113.
- Rittenhouse, T. A. G., Harper, E. B., Rehard, L. R., y Semlitsch, R. D. (2008). The Role of Microhabitats in the Desiccation and Survival of Anurans in Recently Harvested Oak–Hickory Forest. *Copeia*, 2008(4), 807–814. <https://doi.org/10.1643/CH-07-176>
- Roznik, E. A., Sapsford, S. J., Pike, D. A., Schwarzkopf, L., y Alford, R. A. (2015). Natural disturbance reduces disease risk in endangered rainforest frog populations. *Scientific Reports*, 5, 13472. <https://doi.org/10.1038/srep13472>
- Schneider-Maunoury, L., Lefebvre, V., Ewers, R. M., Medina-Rangel, G. F., Peres, C. A., Somarriba, E., Pfeifer, M. (2016). Abundance signals of amphibians and reptiles indicate strong edge effects in Neotropical fragmented forest landscapes. *Biological Conservation*, 200, 207–215.

Stuart, S., Hoffman, M., Chanson, J., Berridge, R., Raman, P., y Young, B. (2008). *Threatened amphibians of the world*. (Lynx Edicions, IUCN, y Conservation International, Eds.) (First Edit). Barcelona: Lynx Edicions.

United Nations Convention to Combat Desertification. (2017). *The Global land Outlook* (First). Bonn, Germany.

Wanger, T. C., Saro, A., Iskandar, D. T., Brook, B. W., Sodhi, N. S., Clough, Y., y Tschardtke, T. (2009). Conservation value of cacao agroforestry for amphibians and reptiles in South-East Asia: combining correlative models with follow-up field experiments. *Journal of Applied Ecology*, 46(4), 823–832.

Wanger, T. C., Iskandar, D. T., Motzke, I., Brook, B. W., Sodhi, N. S., Clough, Y., y Tschardtke, T. (2010). Effects of Land-Use Change on Community Composition of Tropical Amphibians and Reptiles in Sulawesi, Indonesia. *Conservation Biology*, 24(3), 795–802. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01434.x>

Ward, J. H. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236–244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>

Warde, W., y Petranka, J. W. (1981). A Correction Factor Table for Missing Point-Center Quarter Data. *Ecology*, 62(2), 491–494. <https://doi.org/10.2307/1936723>

Whittaker, R. H. (1965). Dominance and diversity in land plant communities: numerical relations of species express the importance of competition in community function and evolution. *Science*, 147(3655), 250–260.