

Investigación Aplicada de los Criterios Ecológicos para las Plantaciones de Café Amigables con la Biodiversidad

Proyecto Fomento a la Conservación de la Diversidad Biológica en Cafetales de El Salvador



Juan Pablo Domínguez y Oliver Komar



Con financiamiento del Global Environmental Facility

INFORME DE EJECUCIÓN TÉCNICA

COMPONENTE

Investigación Aplicada de los Criterios Ecológicos para las Plantaciones de Café Amigables con la Biodiversidad

[Ejecuta: IRG/SIMBIOSIS, con colaboración de University of Kansas Natural History
Museum]

PROYECTO

Fomento a la Conservación de la Diversidad Biológica en Cafetales de El Salvador

[Ejecuta: Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café – PROCAFE]

Preparado por:

Juan Pablo Domínguez Miranda
Asociación Salvadoreña para Investigaciones Biológicas –SIMBIOSIS
Colonia Costa Rica, Calle Juan Mora # 432. San Salvador
Tel/Fax. 270-5667 e-mail: simbios@es.com.sv

Oliver Komar
University of Kansas Natural History Museum, Division of Ornithology
1345 Jayhawk Boulevard, Lawrence, KS 66045-7561
Tel. 785-864-4065 / Fax. 785-864-5335 e-mail: okomar@ku.edu

Fecha de Entrega: 30 de Junio del 2001



KUNHM
University of Kansas Natural History Museum
1345 Jayhawk Boulevard, Lawrence
Kansas 66045-7561, USA
Tel. (785) 864-4065 Fax. (785) 864-5335



SIMBIOSIS
Asociación Salvadoreña para Investigaciones Biológicas
Col. Costa Rica, calle Juan Mora # 432
San Salvador, El Salvador
Tel/Fax. (503) 270-5667 e-mail: simbios@es.com.sv

ÍNDICE

	pp.
RESUMEN EJECUTIVO	3
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVOS	10
ANTECEDENTES	11
El Cultivo del Café en Mesoamérica (breve reseña histórica)	11
Proyecto Fomento a la Conservación de la Biodiversidad en Cafetales de El Salvador	11
El Papel Ecológico de los Cafetales (Revisión Bibliográfica)	14
METODOLOGÍA	18
Duración del Estudio.....	18
Sitios de Muestreo	18
Hábitat	19
Fauna	19
<i>Anfibios y Reptiles</i>	19
<i>Aves</i>	20
<i>Mamíferos</i>	20
Clima	20
Análisis	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
Estructura Arbórea del Hábitat	29
Fauna	32
<i>Anfibios</i>	32
<i>Reptiles</i>	34
<i>Aves</i>	37
<i>Mamíferos</i>	42
Índices.....	42
Criterios de Certificación.....	43
CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES	48
BIBLIOGRAFÍA	49
ANEXOS	

I. RESUMEN EJECUTIVO

Como parte de las acciones de un programa que busca potenciar las ventajas ambientales del cultivo tradicional del café—gestionado por el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales, administrado por la Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café y financiado por el Banco Mundial—se estudió el efecto que las principales diferencias estructurales de manejo (cobertura, cantidad, diversidad y desarrollo de los árboles que integran el estrato de sombra) tienen sobre las comunidades de animales vertebrados presentes en las plantaciones.

El estudio se desarrolló a lo largo de diez meses, de diciembre de 1999 a septiembre del 2000, en la mayor zona productora de café de El Salvador, Cordillera Apaneca – Volcán de Santa Ana, ubicada en la zona occidental del país (anexo 1). De acuerdo a sus características, se seleccionaron 11 fincas cafetaleras y tres bosques naturales (anexos 2 a 10), en donde se trazó un total de 29 parcelas (24 + 5, respectivamente) de 5.0 hectáreas (500 x 100 m) cada una. Las parcelas fueron visitadas durante dos períodos de seis días (12 días en total), uno durante la estación migratoria y el otro durante la estación reproductora, determinando dentro de cada una: la cobertura de sombra existente, las especies de árboles presentes, su cantidad, altura y circunferencia, así como las especies y cantidades de aves, anfibios y reptiles presentes. Estos datos fueron complementados con información sobre la fenología (floración y fructificación) de los árboles, parámetros climatológicos básicos de los días en que se desarrollaron los muestreos, el tipo y cantidad de agroquímicos empleados en la plantación. También se efectuaron entrevistas con los colonos (habitantes de las fincas), para determinar las especies de mamíferos, de mediano y gran tamaño, que les eran familiares.

Se trabajó en la creación de dos índices, que reflejaran adecuadamente el efecto de los cambios estructurales sobre la calidad de hábitat de las plantaciones: (i) un Índice de Perturbación (IP), construido a través de un análisis matemático de componentes principales, basado en 13 de 17 parámetros (ya que 4 parámetros fuertemente correlacionados con otros, $R > 0.9$, fueron retirados del análisis) de la estructura primaria del hábitat, registrados para cada parcela de muestreo, que sirvió para reconocer especies sensibles a los cambios del hábitat (especies cuyas poblaciones variaban de forma correlacionada a los cambios en el hábitat). (ii) Cinco diferentes variantes de un Índice de Importancia para Conservación de la Biodiversidad (IICB) fueron analizadas, dos basadas en la asignación de diferentes valores numéricos a diferentes especies, de acuerdo a su vulnerabilidad y papel ecológico, y tres variantes más, basadas en la riqueza y abundancia de especies indicadoras presentes en cada parcela.

El Índice de Importancia para Conservación de la Biodiversidad que mejor se adaptó a las necesidades del estudio, por su nivel de confiabilidad estadística y fácil uso, resultó ser la variante que utiliza la riqueza de especies indicadoras presentes en cada parcela, como su variable de respuesta. Por lo que un modelo de predicción, basado en análisis de regresión de la riqueza de especies sensibles, versus cada uno de los parámetros de la estructura del hábitat, fue utilizado para calcular los niveles de la estructura arbórea que mejor favorecen a las especies sensibles en plantaciones de café.

La cobertura de sombra resultó ser el parámetro individual que mejor explicó las variaciones registradas en los sitios estudiados ($R = 0.380$, con respecto al IP y $R^2 = 0.694$, con respecto al IICB o riqueza de especies sensibles presentes); seguido por el número de especies de árboles ($R = 0.368$, IP y $R^2 = 0.618$, IICB), el número de árboles emergentes ($R = 0.362$, IP y $R^2 = 0.611$, IICB) y el área basal total ($R = 0.338$, IP). Coincidiendo los tres mejor correlacionados con los tres criterios ecológicos de certificación propuestos.

Dieciséis especies de aves residentes sensibles a la perturbación (2 presentes sólo en bosques y 14 con números poblacionales significativa e inversamente correlacionados a la perturbación del hábitat) fueron identificadas, a través de un análisis con el Índice de Perturbación, y escogidas como indicadores, para evaluar la utilidad de los criterios de certificación del Programa Café y Biodiversidad, en ayudar a mejorar las condiciones que favorecen a estas especies de interés ecológico dentro de cafetales.

Tomando como criterio de evaluación la presencia de las especies identificadas como sensibles en los cafetales, se determinó que los valores preliminarmente adoptados para la certificación de fincas “amigables con la biodiversidad” se sitúan ligeramente por debajo o muy cercanos al límite inferior que permite la ocurrencia de estas especies. Por lo que se recomienda una revisión y ajuste de dichos valores, con el fin de promover las condiciones que favorezcan a especies de interés en los cafetales.

Los pocos registros obtenidos sobre especies de anfibios, reptiles y mamíferos limitaron la aplicación de análisis estadísticos e imposibilitaron la obtención de conclusiones para estos grupos

En total, durante la conducción del estudio se identificaron 230 especies de árboles, agrupadas en 60 familias, 209 especies nativas y 21 exóticas, 137 en cafetales y 147 en bosques (anexo 14); 8 especies (2 de las cuales sólo se encontraron en bosques) de 5 familias de anfibios, 3 citadas como amenazadas a nivel nacional (anexo 45); 22 especies de reptiles (5 encontradas sólo en bosques), agrupadas en 7 familias, de las cuales una es citada como en peligro y 6 como amenazadas en El Salvador (anexo 47); 138 especies (12 de las cuales sólo se encontraron en bosques) de 34 familias de aves, 19 consideradas en peligro y 42 amenazadas a nivel nacional, 3 especies endémicas del Norte de Centroamérica (anexo 50); 23 especies de mamíferos de 13 familias, 8 citados como en peligro y 11 como amenazadas a nivel nacional (anexo 54).

Los datos presentados en este estudio son aplicables a las plantaciones de café, bosques naturales y especies que ocurren en la zona geográfica de la Cordillera Apaneca-Volcán de Santa Ana, en el occidente de El Salvador, en el rango altitudinal de 900 a 1300 msnm. Aunque éstos pueden servir como base para comprender el papel ecológico de cafetales en otras zonas, debe procederse con extrema cautela en cualquier extrapolación de conclusiones, puesto que las especies sensibles que ocurren en hábitat con condiciones diferentes pueden tener requerimientos diferentes a los aquí señalados.

Se requiere de estudios adicionales, que ayuden a comprender muchos otros aspectos que aún se desconocen sobre el papel ecológico de los agro-ecosistemas de café, así como de la variedad de grupos de organismos que los habitan.

II. INTRODUCCIÓN

Mientras el hábitat natural de Centro América continúa reduciéndose, los biólogos reconocemos más el potencial de ciertos agro-ecosistemas, incluyendo el cafetal bajo sombra, para proveer hábitat alternativo a las especies de vida silvestre (Jiménez Avila & Gómez Pompa 1980, Paoletti *et al.* 1992, Pimental *et al.* 1992, Thiollay 1995, Williams Linera *et al.* 1995, Perfecto *et al.* 1996, Toledo & Moguel 1996, Wunderle & Latta 1996). La agricultura amigable con la biodiversidad está en las primeras etapas de su desarrollo, y el cultivo del café representa quizá el más importante modelo de prueba con que cuenta (Dietsch 2000).

El cultivo del café fue introducido en la región a principios del siglo XIX, procedente de Etiopía. Actualmente este cultivo cubre cerca del 9 % del territorio salvadoreño (una extensión aproximada de 1800 Km²) y se cultiva en cinco principales sistemas de cultivo o tipos de cafetal: (i) rústico, cultivado bajo la sombra de bosques naturales en los que se han sustituido los estratos bajos por café, pero el estrato arbóreo permanece más o menos intacto (este sistema es ya bastante escaso en El Salvador), (ii) policultivo tradicional, estructuralmente similar al sistema rústico, pero aquí deliberadamente se han plantado árboles de valor económico (generalmente común en fincas menores de 15 ha en las tierras bajas (entre 500 y 800 msnm)), (iii) policultivo comercial, a pesar de poseer significativo número de árboles, la mayoría de éstos son plantados como productos comerciales alternativos (común en fincas menores de 15 ha en elevaciones arriba de 1200 msnm)), (iv) de sombra tecnificada, con cantidad variable de árboles de una sola o pocas especies (usualmente *Inga spp.*), el número de los cuales disminuye a medida que la altitud aumenta (sistema predominante entre fincas mayores de 35 ha en elevaciones arriba de 1200 msnm), y (v) monocultivo sin sombra, al sol, donde lo único que se eleva por sobre los cafetos son algunos arbustos altos utilizados como barreras rompevientos, pero no hay árboles (en El Salvador es poco común y limitado a plantaciones arriba de 1200 msnm) (Gobbi 2000).

Es un hecho bastante aceptado la similitud estructural que los cultivos menos tecnificados de café guardan con una foresta natural (Perfecto *et al.* 1996, Moguel & Toledo 1999). El valor que este sistema agrícola pueda tener como hábitat alternativo para especies nativas de flora y fauna—particularmente en zonas con elevada pérdida de hábitat naturales—ha sido estudiado y discutido por cantidad de autores (Perfecto & Snelling 1995, Wunderle & Latta 1996, Greenberg *et al.* 1996, Dietsch 2000, Messer *et al.* 2000, Sherry 2000), a pesar de lo cual, es mucho lo que resta por comprender sobre el tema. Algunas de las principales incógnitas sobre el desempeño ecológico de los cafetales son: sus efectos sobre las poblaciones de especies amenazadas, en peligro y endémicas (Dietsch 2000), las implicaciones de la disponibilidad de alimento (Wunderle & Latta 2000), su papel como hábitat de reproducción, su posible uso como espacios de conexión entre hábitat naturales (corredores biológicos), su capacidad para la captación y emisión de gases atmosféricos, su potencial como zonas de recarga acuífera, entre otras. Muchas de las cuales son piezas también faltantes en el estudio de la mayoría de hábitat naturales neotropicales. Sin embargo, el comprender adecuadamente el funcionamiento ambiental de los cafetales, y otros agrosistemas, debe preocuparnos más que comprender a los mismos sistemas naturales, puesto que en muchos casos favorecemos a los primeros sobre los segundos.

De cualquier manera, es ampliamente reconocida la ventaja ambiental de contar con la opción de cafetales, versus una gama de cultivos y otros posibles usos de la tierra ecológicamente menos favorables. Sin embargo, no todos los cafetales bajo sombra son igualmente beneficiosos para la conservación de la biodiversidad (Perfecto & Snelling 1995, Greenberg *et al.* 1996, Van der Voort & Greenberg 1997, Calvo & Blake 1998, Petit 1998, Dietsch 2000, Gobbi 2000, Messer *et al.* 2000); la capacidad de un cafetal para albergar a determinadas especies varía de acuerdo a sus características estructurales y de manejo. El diferente desempeño ecológico de plantaciones con diferentes estructuras de flora acompañante (en especial del estrato arbóreo) es un hecho que persiste en todos los estudios comparativos (Perfecto & Snelling 1995, presente estudio). No es lo mismo una plantación sin árboles de sombra, bajo sol, que una plantación con cantidad y diversidad de árboles que le proveen sombra. De allí deriva la idea básica de aprovechar las ventajas ambientales que los cafetales puedan tener, mediante el fomento de aquellas características ecológicamente más deseables. La pregunta inmediata que surge es, por supuesto, ¿cuáles son esas características?

En principio, ésta puede parecer una interrogante sencilla de responder, si pensamos que mientras más, mayores y más diversos árboles haya es mejor. Pero, aunque en los términos teóricos más generales esta aseveración es cierta, no se manifiesta como un hecho aplicable en la práctica. Las diferentes especies responden de maneras particulares a los cambios que tienen lugar en estos agro-ecosistemas, por lo que no es posible generalizar los beneficios que tal o cual rasgo pueda representar para la biodiversidad nativa, todo dependerá del lugar y las especies a las que se desee favorecer. Gran cantidad de estudios han encontrado las más variadas respuestas de los organismos que habitan los cafetales ante los cambios en la estructura y manejo del cultivo, siendo muchas veces respuestas antagónicas entre las especies y que, en conjunto, no se comportan como la suma de sus partes (Perfecto & Snelling 1995, presente trabajo). Lo que para una especie puede resultar beneficioso puede ser dañino para otra, y los diferentes efectos que, a su vez, las alteraciones de esas especies puedan tener sobre el resto de organismos que integran su comunidad, son impredecibles. Debido a esto es necesario efectuar evaluaciones *in situ*, con el fin de determinar el efecto real de los parámetros que se piensa promover en los cafetales “amigables con la biodiversidad” sobre las poblaciones locales de vida silvestre.

Por otra parte, no todas las especies tienen igual valor en términos de conservación, algunas son abundantes y se encuentran presentes en gran cantidad de hábitat—incluyendo aquellos fuertemente perturbados—mientras que en el otro extremo encontramos especies con poblaciones fuertemente reducidas y que requieren de hábitat muy poco perturbados para su sobrevivencia. De ahí salta a la vista que la importancia que un cafetal, o cualquier otro agro-ecosistema, puede tener en términos de conservación no depende de la cantidad de especies o individuos que albergue (puesto que podría tratarse de un gran número de especies igualmente abundantes en otros sitios), sino más bien de la “calidad” (o grado de “importancia ecológica”) de las especies que en él puedan habitar (Dietsch 2000). Deben entonces promoverse aquellas características que favorecen a las especies más vulnerables y, por ende, de mayor interés para la conservación.

No debe perderse de vista la prioridad de la productividad de las plantaciones; sin duda que, ecológicamente lo mejor sería permitir la regeneración natural de la vegetación, pero debe buscarse un equilibrio, una opción que beneficie a los organismos silvestres presentes, sin comprometer la productividad del cafetal. Todos estos son hechos que complican el escenario al momento de tomar una decisión acertada.

La evaluación de biodiversidad en plantaciones de café requiere por tanto de información precisa, sobre las especies de diversos organismos presentes, sus abundancias relativas y el efecto de los diferentes rasgos de las plantaciones sobre sus poblaciones. Información que necesariamente debe derivarse de la conducción de inventarios en cultivos sometidos a diferentes formas de manejo, y de la comparación analítica de los resultados obtenidos y las características que definen el hábitat en cada caso.

El estudio aquí expuesto se desarrolló con el objetivo de conocer los principales rasgos de manejo de un cafetal, que influyen su capacidad para albergar a especies nativas de animales vertebrados—y que pueden ser modificados por decisión de las personas encargadas—e identificar a las especies que mejor reflejan el valor de conservación de estas plantaciones, en el centro de la región occidental de El Salvador. Se planeó un sistema de evaluación que permitiera estimar la importancia ecológica relativa de las plantaciones evaluadas, asignando valores diferentes a especies con diferente grado de vulnerabilidad (migratorias, endémicas, amenazadas, en peligro, etc.), y distinguiendo entre especies tolerantes y no tolerantes a la perturbación; discernimiento básico que ha sido señalado como necesario por Dietsch (2000). La información obtenida será utilizada para definir criterios de un programa que busca potenciar el valor de conservación de los cafetales en El Salvador, a través de lograr un valor agregado para el café producido bajo condiciones “amigables” con la biodiversidad.

La aplicación del método de evaluación requerido depende fuertemente de los conocimientos existentes sobre las especies que ocurren en la zona y sus estatus, desafortunadamente, esta información es generalmente muy escasa, particularmente en El Salvador, donde pocos inventarios biológicos se han efectuado, aún para parques nacionales y otras áreas protegidas (Komar 1998). Los grupos mejor conocidos en el país son las aves, las orquídeas y los árboles (de los que estimamos se conoce entre el 90 y 95% de las especies que ocurren en El Salvador). Aunque la lista oficial de especies amenazadas y en peligro de extinción (MAG 1998) incluye además peces, anfibios, reptiles y mamíferos, los criterios empleados para su inclusión son casi exclusivamente apreciativos. Basados en tal razonamiento y considerando que la presencia de especies vegetales en las plantaciones es altamente manejada (por lo que su presencia y cantidad no es el resultado de variables ecológicas), se decidió utilizar al grupo de las aves como principal indicador para la evaluación de los criterios de certificación para cafetales amigables con la biodiversidad, e identificar dentro de este grupo a las especies que puedan servir como mejores indicadores particulares de los rasgos evaluados. En concordancia con los principios para el desarrollo de indicadores ecológicos (Soberón *et al.* 2001), la selección del grupo de las aves como indicadores principales se basó en la simpleza y facilidad para ser identificadas y cuantificadas, lo que a su vez permite obtener mayor número de datos, fortaleciendo los resultados estadísticos de los análisis. Las identificaciones, cuantificaciones y mediciones de árboles, se utilizaron como indicadores de la estructura

del hábitat (que en el caso de los cafetales puede ser modificada de acuerdo al manejo del cultivo), para servir como variables independientes de análisis. Adicionalmente, se identificaron y cuantificaron anfibios y reptiles, y se obtuvo información sobre las especies de medianos y grandes mamíferos presentes en cada plantación, con el objeto de complementar y comparar los resultados obtenidos con aves. El grupo de los anfibios destaca por su alta sensibilidad a la presencia de contaminantes en el medio.

Aunque los insectos y otros invertebrados, hongos, plantas herbáceas, epífitas e inferiores, y bacterias, también forman parte de la diversidad biológica en una plantación, no se incluye la evaluación de estos grupos, ya que no existe información sobre sus estatus y en muchos casos la identificación a nivel de especie es sólo posible después de detallados estudios, por una variedad de expertos especializados trabajando en museos en otros países; lo que aumenta significativamente los costos, sin aportar mucha información útil al objetivo de evaluar los criterios adoptados. Lo ideal sería poder inventariar a profundidad todos los componentes de la biodiversidad presentes en las plantaciones, pero ante la falta de tiempo, presupuesto y recurso humano, es necesario encontrar un equilibrio entre los datos que llenen los requerimientos de la investigación ecológica y los que de manera realista podrán ser y serán obtenidos en la práctica (Soberón *et al.* 2001). En tal sentido, la selección de indicadores adecuados debe basarse en variables que sean: (i) relevantes en términos de los componentes de la biodiversidad y procesos afectados por el manejo, (ii) suficientemente sensibles para detectar los cambios, (iii) fáciles de medir, y (iv) utilizables para una interpretación directa (Soberón *et al.* 2001).

Concretamente, se trabajó en 24 diferentes parcelas, de 5 ha. cada una, ubicadas en 11 plantaciones de café de la Cordillera Apaneca – Volcán de Santa Ana (anexos 2 a 10). Estas parcelas se ubicaron dentro del mismo rango altitudinal (900 a 1,300 msnm) y las distancias que las separaban de áreas boscosas eran similares (todas entre 2125 y 3375 m); pero diferían en cuanto a sus principales rasgos estructurales de manejo: porcentaje de cobertura de sombra, número de árboles utilizados como sombra, número de especies del estrato arbóreo y desarrollo del mismo. Dentro de cada parcela se determinó el número de árboles presentes, las especies a que éstos pertenecían, la altura y diámetro de los mismos, así como las especies y cantidades de aves, reptiles y anfibios presentes. Datos complementarios sobre fenología (floración y fructificación) de los árboles y las condiciones climáticas generales, también fueron registrados. Finalmente, se obtuvo información sobre los tipos y cantidades de agroquímicos utilizados en cada plantación y las especies de mamíferos que en ellas podían observarse, por medio de entrevistas a los pobladores (colonos). Como un control, cinco parcelas más (para un total de 29) fueron ubicadas en bosques naturales situados en la misma zona geográfica y rango altitudinal (anexo 2), desarrollándose en ellas las mismas mediciones antes descritas para las parcelas en cafetales.

Los datos de esta manera obtenidos en campo, fueron posteriormente comparados y analizados a la luz de pruebas estadísticas que nos permitieran cuantificar sus grados de asociación y significancia, con el objeto de describir y prever la estructura y cambios de la diversidad biológica bajo las diferentes condiciones del cultivo del café, y sugerir medidas para orientar este cultivo hacia la mejora de sus aptitudes como refugio de la vida silvestre.

Así, el Componente Estudio Ecológico aporta información objetiva, para evaluar los criterios ecológicos específicos usados para certificar cafetales de sombra, basado en su papel de protección de la biodiversidad, como fuera recomendado por el taller de expertos del Proyecto Café y Biodiversidad, así como por algunos estudios publicados sobre cafetales y biodiversidad (Dietsch 2000). Los resultados sugieren niveles mínimos para cada una de las variables estructurales consideradas en los criterios de certificación utilizados (cobertura de sombra, diversidad y talla de los árboles), necesarios para que una plantación de café pueda servir como hábitat amigable con la biodiversidad. Esta información es directamente aplicable al diseño y evaluación de programas de certificación de café, que se orientan a certificar cafetales manejados para ayudar a conservar la biodiversidad.

III. OBJETIVOS

III.1. Objetivo General.-

Obtener la información básica necesaria que permita caracterizar, tipificar y orientar los sistemas de cultivo del cafeto en El Salvador, para optimizarlo como hábitat de especies animales y vegetales nativas.

III.2. Objetivos Específicos.-

- a.** Desarrollar un índice de importancia de conservación de la biodiversidad para plantaciones de café, basado en la diversidad de especies vertebradas presentes.
- b.** Determinar especies y cantidades de anfibios, reptiles y aves, así como especies de medianos y grandes mamíferos, presentes en cafetales con diferentes sistemas de manejo, ubicados en la Cordillera Apaneca – Volcán de Santa Ana.
- c.** Determinar especies, cantidades, cobertura y talla del estrato arbóreo en las mismas plantaciones.
- d.** Determinar una densidad, diversidad y estructura mínimas de los árboles de sombra, necesarias para proveer hábitat a una significativa cantidad de especies silvestres de especial interés para la conservación.

IV. ANTECEDENTES

IV.1. El Cultivo del Café en Mesoamérica (breve reseña histórica).-

Por casi 200 años, desde su introducción a principios del siglo XIX, el café producido en Mesoamérica fue cultivado bajo sombra. A partir de la década de los setentas, los monocultivos de café al sol han sustituido rápidamente grandes extensiones de cultivos rústicos y bajo sombra (Perfecto et al 1996, Rice & Ward 1996. Citados por Sherry 2000), llegando a ocupar, en el más drástico de los casos (Costa Rica) el 40% de la superficie cultivada (Smithsonian Migratory Bird Center 1997. Citado por Sherry 2000). Este hecho respondió en gran medida a una política lanzada por el gobierno estadounidense, a través de la cual se gastaron más de \$ 80 millones para promover la tecnificación de los cultivos del café en toda Latinoamérica (Rice & Ward 1996. Citado por Messer *et al.* 2000). La rápida expansión del café al sol es un hecho de preocupación para el futuro de la biodiversidad en las plantaciones de café (Borreo 1986, Gallina et al. 1992, citados por Greenberg *et al.* 1996; Wunderle & Latta 1996, Gobbi 2000).

En El Salvador la conversión de café tradicional a tecnificado ha sido una de las más moderadas de la región, solamente superada por el caso de Panamá (pero que también posee mucha menor extensión cafetalera—casi la octava parte que El Salvador) (Messer *et al.* 2000). La modificación ha sido más significativa en plantaciones mayores a 35 ha, mientras que las plantaciones más pequeñas (que son además las más numerosas) conservan los sistemas tradicional y de policultivo (Gobbi 2000). De cualquier manera, es de gran interés para la conservación de la biodiversidad implementar estrategias que reorienten la tendencia hacia cultivos de sombra más simplificada, versus cultivos de sombra biológicamente diversa en El Salvador (Gobbi 2000).

IV.2. Proyecto Fomento a la Conservación de la Biodiversidad en Cafetales de El Salvador.-

El cultivo del café es la piedra angular de la economía en El Salvador, siendo el más importante producto de exportación, además constituye una importante fuente de empleo, que aproximadamente representa el 15.5% de la actividad económica rural del país (Pérez 1996. Citado por Gobbi 2000). Adicionalmente, las más de 195,000 ha. (9.43% del territorio) plantadas con cafetos en El Salvador, la mayoría de las cuales se cultivan bajo sombra, sin duda son un factor importante al considerar la protección de la biodiversidad a nivel nacional, especialmente en el rango altitudinal que va de los 300 a los 1800 msnm, en que se encuentran los cafetales y del cual representan la mayor parte. De hecho, grandes porciones de la propuesta nacional para integrar el Corredor Biológico Mesoamericano corresponden al “Parque Cafetalero”, o área de producción de café (Reyna de Aguilar *et al.* 1996) (anexo 11).

De los proyectos para consolidación del Corredor Biológico, financiados en 1997 y 98 por el “Global Environment Facility (GEF)” en todos los países centroamericanos, el proyecto salvadoreño fue específicamente enfocado a la conservación de la biodiversidad en plantaciones de café.

Considerado dentro de la categoría de medianos proyectos, su gestión estuvo a cargo del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Parte del diseño del proyecto era la identificación de una institución sólida y ágil en el manejo de fondos, que pudiera administrarlo; así se elige a la Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café—PROCAFE—que se responsabiliza de la implementación del proyecto desde su inicio, en julio de 1998.

La importancia de este proyecto es tanto ambiental como socio-económica, ya que el cultivo de “café amigable con la biodiversidad” parece ser financieramente viable (Gobbi 2000) en El Salvador y representa una alternativa de reactivación de la agroindustria cafetalera nacional. Pero, se necesita posicionar al café certificado como un producto preferido por aquellos consumidores individuales que se preocupan por el ambiente, lo cual puede tener un efecto positivo al inclinar la balanza en favor de estos agro-ecosistemas, ayudando así a la conservación en los trópicos (Sherry 2000).

El Proyecto Fomento a la Conservación de la Diversidad Biológica en Cafetales de El Salvador, popularmente conocido como “Café y Biodiversidad”, cuenta con nueve principales Componentes, diseñados para desarrollar partes complementarias de la creación y lanzamiento del nuevo producto, “Café Amigable con la Biodiversidad”, que son:

- a. Estudio de Mercado ⇔ tiene por objeto identificar la aceptación del café salvadoreño cultivado bajo sombra y amigable con la biodiversidad en el mercado internacional de café de especialidades, para apoyar la industria local y conseguir un valor agregado al producto principal de exportación en El Salvador.
- b. Monitoreo Geográfico ⇔ tiene por objeto identificar la distribución espacial y diferenciar los principales tipos de cafetales de la región occidental del país, como herramienta básica para el desarrollo de otros componentes.
- c. Certificación de Fincas ⇔ tiene por objeto reducir los impactos ambientales de la agricultura tradicional y comercial en las fincas de café de El Salvador y hacerlas más saludables y seguras para sus mismos trabajadores, asimismo convertir las fincas en mejores vecinos para las comunidades aledañas y para los ecosistemas silvestres.
- d. Estudio Socio-Económico ⇔ tiene por objeto medir y relacionar los impactos que la aplicación del proyecto conlleva sobre los diferentes aspectos de índole social y económico.
- e. Educación Ambiental ⇔ tiene por objeto promover cambios de actitud entre los productores, trabajadores, comunidad y escuelas para que todos participen en la conservación y recuperación de los recursos naturales mediante su uso sostenible.
- f. Investigación Agronómica ⇔ tiene por objeto agrupar y caracterizar los agroecosistemas de café, así como el diseño de un modelo para obtener la línea base de secuestro de CO₂ en los cafetales.

- g.** Análisis Financiero ⇨ tiene por objeto Evaluar la rentabilidad de fincas amigables con la biodiversidad bajo situaciones inciertas y de riesgo.
- h.** Transferencia de Tecnología ⇨ tiene por objeto identificar condiciones para promover la producción de Café Amigable con la Biodiversidad; así como elaborar una guía técnica para producir café cultivado bajo sombra y amigable con la biodiversidad.
- i.** Estudio Ecológico ⇨ tiene por objeto obtener la información básica necesaria que permita caracterizar, tipificar y orientar los sistemas de cultivo del cafeto en El Salvador, para optimizarlo como hábitat de especies animales y vegetales nativas.

Taller de Expertos para la Certificación de Café

La preparación del Proyecto Café y Biodiversidad incluyó el desarrollo de criterios preliminares, para poder iniciar una etapa de prueba de certificación del café. Estos criterios preliminares surgieron de un taller de expertos, sostenido en diciembre de 1997, en San Salvador. Un grupo de 75 personas, entre reconocidos expertos internacionales en biodiversidad, conservación de recursos naturales, programas de certificación, producción y mercadeo de café, se reunieron por tres días para discutir y determinar los que, a su juicio, serían los mejores parámetros para que las plantaciones de café puedan sostener comunidades saludables de interés para la conservación, sin menoscabo de su producción. Estos parámetros fueron concebidos como criterios iniciales de certificación para café amigable con la biodiversidad, y adoptados por el programa internacional de certificación ECO-OK, para ser utilizados en una prueba práctica en El Salvador, iniciando su aplicación en 1999.

Se estableció claramente que los criterios propuestos eran de carácter preliminar, y que la efectividad de los mismos debería ser validada a la luz de la investigación aplicada, planeada como parte del Componente de Estudio Ecológico del Proyecto. Esto con el fin de probar las asunciones sobre la densidad, diversidad y estructura de sombra inherentes a los criterios, así como otras variables ambientales que pudieran influenciar el desempeño de los agro-ecosistemas. Adicionalmente, la necesidad de probar la efectividad de todos los criterios utilizados para certificación de agricultura amigable con la biodiversidad, ha sido antes señalada (Dietsch 2000).

Los criterios ecológicos establecidos en el taller, y provisionalmente adoptados por el sello ECO-OK para la certificación de fincas en El Salvador, son:

- a.** conservar un mínimo del 40% de sombra después de la poda,
- b.** poseer al menos 10 especies de árboles nativos que provean sombra, cada una con una densidad mínima de un árbol por manzana (1.4 árboles / ha.),
- c.** que 20% de los árboles emerjan por sobre el dosel,
- d.** utilizar prácticas conservacionistas para el manejo de vegetación, suelos y cuerpos de agua,

- e. no cazar ni remover especies silvestres con fines comerciales,
- f. solamente utilizar cantidades moderadas (de acuerdo a estándares nacionales e internacionales) de agroquímicos no peligrosos, y
- g. educar a los trabajadores ambientalmente y para el correcto manejo de los agroquímicos.

Convenio SIMBIOSIS – University of Kansas

Para poder conducir las investigaciones de validación de los criterios preliminares, planeadas en el Componente Estudio Ecológico del Proyecto, se requería de una institución que contara con el recurso humano competente y, de preferencia, con el respaldo internacional de una institución reconocida en materia de estudios de biodiversidad. A tal efecto, la Asociación Salvadoreña para Investigaciones Biológicas—SIMBIOSIS, que agrupa al mayor número de investigadores biológicos de El Salvador, estableció un convenio de cooperación técnica con el Museo de Historia Natural y Centro para Investigaciones de Biodiversidad de la Universidad de Kansas (KUNHM, por sus siglas en inglés), con el fin de asegurar que los estudios fueran ejecutados de acuerdo a los estándares internacionales de calidad para investigaciones ecológico-biológicas (anexo 12). De acuerdo al referido convenio, SIMBIOSIS aportó los investigadores de campo, mientras el KUNHM designó a uno de sus aspirantes doctorales para dar seguimiento directo al estudio, así como su personal de expertos en diversos temas, para asesorar el diseño experimental y el análisis de resultados.

Convenio SIMBIOSIS – International Resources Group (IRG)

De igual manera que se hiciera para la ejecución técnico-científica, se estableció un convenio que brindara solidez a la administración financiera del Componente, esta vez el convenio de cooperación técnica-administrativa se celebró entre SIMBIOSIS y el “International Resources Group (IRG)” (anexo 13), consultora internacional basada en Washington D.C. con amplia experiencia en la ejecución de proyectos financiados por organismos como USAID y Banco Mundial, en diferentes partes del mundo, incluyendo varios países centroamericanos. IRG se encargaría del manejo general de los fondos y la preparación de informes financieros.

En mayo de 1999, el equipo IRG – SIMBIOSIS participa en la licitación privada convocada por PROCAFE, para adjudicar la ejecución del Componente Estudio Ecológico del Proyecto Café y Biodiversidad, resultando seleccionado de entre otras tres propuestas.

IV.2. El Papel Ecológico de los Cafetales (Revisión Bibliográfica).-

La fragmentación de hábitat naturales tiene un efecto negativo sobre las poblaciones de fauna y flora, que según parece podría estar íntimamente asociado al aumento del área afectada por la brusca transición de un hábitat natural a otro fuertemente degradado—“efectos borde” (si se reduce la extensión de un área cualquiera, el porcentaje de superficie exterior de la misma aumenta con relación

al total. Un área circular de 10 ha. tiene un perímetro de 1121 m, mientras que un área de la mitad del tamaño, 5 ha., tiene un perímetro de 792.66 m, sólo 0.3 veces menor en lugar de 0.5). Estos impactos negativos han sido bien documentados en los casos de hábitat de anidación de aves norteamericanas, que reducen su éxito reproductivo al encontrarse más expuestas a los depredadores de nidos, normalmente especies “agresivas” que se encuentran en regulares cantidades en hábitat perturbados, y parásitos de nidos, especies oportunistas que dejan sus huevos en los nidos de otras especies como el Tordo Cabecicafé (*Molothrus ater*), además de la disminución en la cantidad de alimento disponible (Wilcove 1985, Robinson et al. 1995, Bruce & Nol 1998 y Askins 1999. Citados por Sherry 2000). Adicionalmente, la acción misma de fragmentar una comunidad ecológica tiene significativa influencia directa en el número y tipo de especies que puede sostener (Soberón *et al.* 2001)

Estos efectos negativos de fragmentación y aislamiento de los remanentes de hábitat natural pueden ser disminuidos, si los espacios alrededor y entre las áreas naturales son utilizados para cultivos agroforestales que poseen características estructurales más o menos similares a los bosques, y que actúan como zonas de amortiguamiento (Thiollay 1995); tal es el caso de los cafetales bajo sombra. Desde los años 30's los biólogos han notado similitud estructural y de especies presentes en los cafetales tradicionales (cultivados bajo sombra) y los bosques naturales (Bray 1999, Moguel & Toledo 1999), similitud que disminuye en los sistemas de producción más modernos y tecnificados.

En muchas partes del norte neotropical, los cafetales bajo sombra constituyen el único hábitat remanente para especies adaptadas a bosques, y su desempeño como hábitat para fauna silvestre puede ser catalogado de aceptable (Messer *et al.* 2000). Estas conclusiones encuentran apoyo en hechos como la alta cantidad de machos de algunas especies de aves migratorias que utilizan los cafetales como hábitat invernal, los que deben luchar durante el invierno por territorios que contienen suficiente alimento, para lograr la condición física necesaria para la migración primaveral (es una asunción básica generalizada que los hábitat con dominancia de machos son de superior calidad para esas especies migratorias (Wunderle 1992, Marra & Holberton 1998, Marra *et al.* 1998. Citados por Sherry 2000)). Sherry (2000) y Wunderle & Latta (2000) reportan datos de una buena condición corporal de las aves que permanecen en cafetales durante todo el invierno, aún en pequeños fragmentos, y una fidelidad de sitio de invernación, en y entre inviernos, en el rango de valores reportados para las mismas especies en hábitat naturales de las mismas regiones geográficas. El éxito de uso de este hábitat por pequeñas especies de aves migratorias puede estar asociado a la gran abundancia de néctar, frutas e insectos durante la estación migratoria, gran parte de los cuales son suministrados por los árboles de Inga (Wunderle & Latta 1998; Greenberg *et al.* 1997a, b. Citados por Sherry 2000). Esto está en concordancia a la hipótesis planteada por Hutto (1980. Citado por Strong 2000) que señala la disponibilidad de comida como el más importante factor que determina la calidad de un hábitat para las aves terrestres migratorias.

Pero la abundancia de un tipo de comida que favorece a determinadas especies, no necesariamente significa que el hábitat es bueno para otras. De hecho, Strong (2000) encontró que un ave migratoria que se alimenta principalmente de invertebrados y algunos vertebrados que viven en la capa de hojas

caídas que recubren el suelo (*Limnothlypis swainsonii*, que es además considerado una especie de interés para la conservación (Hunter *et al.* 1993, Thompson *et al.* 1993. Citados por Strong 2000)), era considerablemente abundante en bosques naturales y muy poco abundante en cafetales de sombra de Jamaica, lo que correspondía con la mejor desarrollada cubierta de hojarasca en los bosques, que a su vez albergaba una más abundante fauna asociada.

En apoyo a la consideración del valor ecológico de los cafetales bajo sombra, Dietsch (2000) reporta la ocurrencia de al menos 66 especies de aves neotropicales consideradas amenazadas o en peligro de extinción por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y la Convención para el Comercio Internacional de Especies Amenazadas y En Peligro (CITES). Greenberg *et al.* (1997) reporta 38% (10 de 26) de las especies endémicas de las tierras altas del sur de México y Guatemala en cafetales de sombra, mientras que Johnson (2000) encontró en fincas tradicionales 48% (17 de 35) de las especies endémicas de Jamaica. Estrada & Coates-Estrada (1993. Citado por Messer *et al.* 2000) considera que tanto como el 74% de la diversidad de murciélagos de los bosques lluviosos de Chiapas es sostenida por los cafetales bajo sombra de la región. Perfecto *et al.* (1996) encontró 52 especies de hormigas y 212 especies de escarabajos en sólo dos árboles cercanos de un cafetal bajo sombra en Costa Rica, de las cuales sólo 5 y 14 especies se encontraron en ambos árboles, respectivamente. Moguel & Toledo (1999) hacen una revisión que demuestra una alta diversidad de árboles, epífitas, mamíferos, aves, reptiles, anfibios y artrópodos habitando en plantaciones de café tradicional.

En contraste, se han documentado numerosos casos de reducción de biodiversidad cuando los cafetales se vuelven más tecnificados. En Costa Rica Perfecto & Snelling (1995) reportan una marcada disminución de la biodiversidad de hormigas. En Colombia y México Van der Voort & Greenberg (1997. Citado por Messer *et al.* 2000) reportan de 94 a 97% menos aves en cafetales tecnificados comparados con cultivos bajo sombra, mientras que Petit (1998. Citado por Messer *et al.* 2000) reporta disminuciones del 60 al 80% en la cantidad de especies de aves reportadas entre plantaciones bajo sol y sombra en Panamá, México y el Caribe. Adicionalmente, no sólo se ha reportado una significativa disminución del número de especies presentes en fincas tecnificadas, sino que también se registra un incremento del índice de similitud entre fincas, lo que significa que ocurren las mismas pocas especies y por ende la biodiversidad es mucho menor, esto ha sido bien documentado para especies de hormigas (Perfecto & Snelling 1995).

Estos cambios no ocurren bruscamente entre un cafetal bajo sombra y uno bajo sol o tecnificado, sino presentan gran cantidad de estadíos intermedios, de acuerdo a las diferencias de la estructura del hábitat en las plantaciones. Desde una finca con gran porcentaje de cobertura de sombra y diversidad de especies vegetales, que alberga una variada comunidad de especies silvestres, hasta otra sin cobertura de sombra ni diversidad de especies vegetales, que alberga una pobre comunidad, pasando por fincas con diferentes valores de cobertura de sombra y también diferentes cantidades de diversidad de especies vegetales, que albergan comunidades intermedias de especies silvestres. De hecho, hay mucha más variación en la calidad de hábitat de diferentes plantaciones de café bajo sombra, que la

que hay entre café bajo sombra y café bajo sol como clases (Greenberg *et al.* 1996). Algunas especies guardan estrecha relación con tales parámetros y por ende las diferencias en sus poblaciones están fuertemente correlacionadas con la variación de los parámetros, mientras que hay especies insensibles a estos cambios, cuyas poblaciones no reflejan variaciones, o muy pocas, a medida que la estructura del hábitat se modifica. Perfecto & Snelling (1995) encontraron, en Costa Rica, que los números de blátidos (cucarachas), colémbolos, hormigas que se alimentan en el suelo y otros hemípteros, estaban directa y positivamente correlacionados con la diversidad estructural de los cafetales, los números aumentaban a medida que la diversidad estructural crecía, mientras que los coleópteros estaban directa pero negativamente correlacionados con la diversidad estructural, sus números decrecían a medida que las fincas se volvían más complejas. Por otra parte, las especies de hormigas que se alimentaban sobre los arbustos de café no se correlacionaban con la estructura del hábitat, eran insensibles y sus números se mantenían relativamente estables o variaban sin relación a los cambios en la diversidad estructural de las plantaciones. Greenberg *et al.* (1996) encontraron, en Guatemala, correlaciones positivas entre el número de aves registradas y las variables de cobertura de sombra, variación de la altura promedio y diversidad de los árboles de sombra. Estos cambios pueden estar directamente condicionados por factores como: cambios en condiciones microclimáticas, disponibilidad de alimento, e interacción con otras especies, que a su vez son influenciados por los cambios estructurales en los cultivos (Perfecto & Snelling 1995).

Algunas ventajas adicionales de los cafetales cultivados bajo sistemas que permiten la ocurrencia de diversidad de especies de flora y fauna son: control de las poblaciones de especies dañinas de insectos y otros pequeños herbívoros, a cargo de depredadores naturales como arañas, hormigas y aves (Greenberg *et al.* 2000. Citado por Sherry 2000); aumento en la fertilidad del suelo por el empleo de plantas fijadoras de nitrógeno, en especial leguminosas (Sherry 2000); control de malezas por consumo de semillas por algunas aves migratorias (Strong 2000)—acción que probablemente también es desarrollada por algunos pequeños mamíferos; y producción de productos complementarios (frutas, leña, etc) que pueden ser aprovechados o vendidos por el agricultor (Greenberg *et al.* 1996, Gobbi 2000). La mayoría de estos efectos reducen la necesidad de aplicar fertilizantes artificiales y pesticidas, reduciendo costos para el agricultor y produciendo cosechas con mínima o ninguna contaminación.

De cualquier manera, las ventajas que los cafetales tradicionales ofrecen a la biodiversidad son siempre relativas y menores a las encontradas en hábitat naturales, hecho señalado por los estudios comparativos (Wilson & Jonson 1982, Johns 1985, Roth *et al.* 1994. Citados por Perfecto & Snelling 1995. Greenberg *et al.* 1996, presente estudio); por lo que siempre deben ser vistos como una alternativa favorable ante otros sistemas menos beneficiosos de uso de la tierra, pero nunca como sustitutos del hábitat natural. Existen cantidad de especies especialistas de bosques que no están presentes aún en los cafetales más estructuralmente diversos (Greenberg *et al.* 1996, Dietsch 2000, presente estudio).

VI. METODOLOGÍA

VI.1. Duración del Estudio.-

Los primeros dos meses (octubre y noviembre de 1999) correspondieron a la fase preparatoria, y fueron empleados para la búsqueda de sitios de muestreo apropiados a los objetivos del estudio, la adquisición de materiales y equipos, y la preparación general de la fase de muestreos.

La segunda fase, de muestreos, se dividió en dos rondas, la primera de las cuales tuvo lugar durante la estación seca 1999 – 2000 (diciembre a abril), comprendiendo visitas de 6 días a cada una de las 24 parcelas establecidas en cafetales. La segunda ronda de visitas se desarrolló durante los meses de mayo a septiembre (estación lluviosa) 2000, retornando a cada una de las 24 parcelas en cafetales y estableciendo 5 parcelas adicionales en bosques naturales.

Finalmente, la fase de sistematización y análisis de datos ocupó un período de 7 meses (de octubre 2000 a abril 2001).

VI.2. Sitios de Muestreo.-

Descripción

Los sitios de muestreo fueron definidos como parcelas rectangulares de 500 x 100 m (5.0 ha), cubriendo áreas de características estructurales (porcentaje de cobertura de sombra, densidad, diversidad y talla de árboles de sombra) más o menos homogéneas dentro de ellas mismas, pero variables (preferentemente como un gradiente) entre las diferentes parcelas, ubicadas en plantaciones de café o bosques naturales.

Selección

La selección de sitios apropiados constituyó un paso crucial del estudio, para asegurar la aplicabilidad de los resultados. Se evaluaron 30 plantaciones durante las primeras semanas del proyecto, y se seleccionaron 12 plantaciones (de las 30 evaluadas) que variaban en densidad, diversidad y estructura de árboles de sombra—para poder efectuar un análisis comparativo de los resultados—pero que poseían prácticas de manejo y rasgos geográficos similares. Puesto que grandes diferencias en el uso de agroquímicos, rango de elevación, tiempos de poda, distancia a bosques naturales, etc, podrían causar diferencias no dependientes de los criterios de certificación en la biodiversidad presente, éstas debían ser aproximadamente las mismas en todos los sitios de estudio. Con respecto a prácticas de manejo, se condujo el estudio en plantaciones que utilizan agroquímicos según las dosis recomendadas por PROCAFE. Geográficamente se estudiaron cafetales localizados en la Sierra de Apaneca – Ilamatepec, entre 900 y 1300 msnm, y a más de 5 km de un bosque natural mayor de 1000 ha, o a más de 2 km de bosques naturales entre 50 y 1000 ha. Parches más pequeños de bosque a menos de 2 km, fueron tolerados. En cada plantación seleccionada se marcaron 2 parcelas de muestreo, de acuerdo a la descripción antes brindada.

En adición a las parcelas en cafetales, ubicamos 5 parcelas en 3 bosques naturales localizados en la región de estudio, y con el mismo rango de altitud que las plantaciones de café estudiadas; para proveer un “control” para el nivel de biodiversidad que podría considerarse aceptable en los cafetales amigables con la biodiversidad.

VI.3. Hábitat.-

Estructura

Se efectuaron mediciones de las características principales que componen la estructura primaria del hábitat, utilizando 9 círculos de 13.30 m de radio ($555.56 \text{ m}^2 \text{ c/u}$), 5000 m^2 (0.5 ha) en total, ubicados cada 50 m, desde el punto 50 m hasta el 450 m, sobre la línea media longitudinal de cada parcela.

Se identificaron las especies de plantas vasculares con al menos 5 cm de DAP (“árboles”) presentes en cada círculo, contándoles, midiendo su circunferencia a nivel del pecho y su altura, y anotando si se encontraban en floración y/o fructificación.

Adicionalmente, se determinó el porcentaje promedio de la cobertura de sombra al nivel de los cafetos y al nivel del suelo, para cada parcela en cada estación del año (estaciones seca y lluviosa), efectuando mediciones con un densiómetro. Veinte mediciones en cada uno de los 9 círculos (cuatro mediciones, una al norte, una al sur, una al este y una al oeste, en el centro y cuatro mediciones en cada uno de los extremos norte, sur, este y oeste, del mismo), por sobre la altura de los cafetos y 20 mediciones más al nivel del suelo, en total 180 mediciones sobre el nivel de los cafetos y 180 mediciones a nivel del suelo, por parcela.

Contaminantes

Para cada plantación, se obtuvo información sobre los agroquímicos empleados a lo largo del ciclo de producción, mediante entrevistas con los administradores de cada lugar.

VI.4. Fauna.-

VI.4.a. Anfibios y Reptiles.-

Se desarrollaron búsquedas intensivas de esfuerzo fijo, 2 horas por la mañana y 2 horas por la tarde de cada día, dentro de cada una de las parcelas de estudio, durante las estaciones seca (diciembre 1999 a abril 2000) y lluviosa (mayo a septiembre 2000), contabilizando el número de anfibios y reptiles presentes, colectando y preservando los especímenes, siempre que era posible, para su posterior identificación en laboratorio. Los especímenes así colectados fueron depositados en el Museo de Historia Natural de El Salvador y en el Museo de Historia Natural de la Universidad de Kansas, de acuerdo al correspondiente permiso de colecta científica, emitido por el Servicio de Parques Nacionales y Vida Silvestre.

VI.4.b. Aves.-

Los inventarios de aves se condujeron por observación directa, especialmente a través de la identificación de cantos, dada la dificultad de ver a los individuos en hábitat cerrados, en especial en los bosques naturales. Los censos se efectuaron entre las 6 y 10 de la mañana de cada día, 2 horas diarias por parcela (alternando horarios), identificando y contabilizando todas las aves detectadas, por vista u oído, dentro de los límites de la respectiva parcela. Al igual que con el resto del estudio, las visitas a las parcelas se efectuaron durante la época seca (durante la permanencia de las especies de aves migratorias) y durante la época lluviosa (durante la reproducción de las aves residentes). La documentación de identificaciones se efectuó mediante grabaciones de calidad profesional de los cantos, que posteriormente fueron depositadas en el Laboratorio de Cantos de Aves de la Universidad de Cornell.

VI.4.c. Mamíferos.-

Dado que las especies de mamíferos grandes y muchas de mamíferos medianos son fácilmente reconocidas por los residentes locales en las zonas de producción de café, y que en contraposición resulta extremadamente difícil efectuar censos directos de estos grupos, se efectuaron entrevistas en cada sitio de estudio para determinar qué especies de mamíferos estaban presentes. En algunos casos se llegaron a encontrar evidencias (huellas, heces o restos) y hasta observar mamíferos directamente, lo que sirvió para corroborar la información ya obtenida de parte de los pobladores.

VI.5. Clima.-

Las medidas de lluvia (por medio de un pluviómetro), viento (según la escala de Beaufort) y temperatura (utilizando un termómetro ambiental) fueron registradas para cada día del estudio, con el fin de suspender los censos durante condiciones climáticas extremas, que pudieran afectar la detectabilidad de los animales.

VI.6. Análisis.-

Generales

El primer paso en el análisis de los datos recopilados en campo fue la sistematización de la información numérica, mediante la aplicación de estadísticos simples, utilizados para describir las series: frecuencias absoluta y relativa, totales y sub-totales, promedios, desviaciones estándar, y porcentajes.

Una vez sistematizadas las series de datos, se procedió a efectuar una secuencia de análisis comparativos, con el fin de identificar aquellas variables que guardaban estrechas relaciones entre sí.

Utilizando regresiones simples de tipo polinomial y coeficientes de correlación ajustados (R^2), se midió el grado de asociación existente entre las diferentes variables observadas. Adicionalmente, se determinó la significancia de la asociación para cada análisis, utilizando pruebas de significancia; considerando un valor de confiabilidad de por lo menos 95% (5% de incertidumbre) como aceptable.

La inmensa diversidad de componentes e interacciones entre éstos suscitadas, que caracterizan a los ecosistemas, dificultan la comprensión de las relaciones que puedan existir entre sus variables individuales. Por lo que se diseñaron y condujeron análisis capaces de combinar los aportes individuales de diferentes variables de un mismo tipo—estructura del hábitat o composición de la comunidad de animales de un grupo—en un valor numérico único, “índice”, formado por la contribución variable de las diferentes partes. Dos índices fueron aplicados, (i) un Índice de Perturbación (IP), capaz de reflejar los cambios registrados en la estructura del hábitat, desde su estado natural primario hasta su total modificación antropogénica, y (ii) un Índice de Importancia de Conservación de la Biodiversidad (IICB), capaz de reflejar el valor ecológico relativo que un sitio puede representar, de acuerdo al interés en términos de conservación de las comunidades bióticas que alberga, desde sitios con significativa cantidad de especies “sensibles” hasta sitios con sólo especies comunes y en pocos números. Adicionalmente, se condujo un análisis de regresión de las respuestas de las poblaciones de cada especie inventariada de acuerdo a los cambios registrados en la estructura del hábitat, con el objeto de identificar aquellas especies sensibles a estos cambios, “especies indicadoras”, que mejor respuesta brindarán a las interrogantes sobre cuánto de cada parámetro es suficiente para poder considerar a un cafetal como “amigable con la biodiversidad”.

Índice de Perturbación (IP)

Para evitar los problemas y posibles errores, derivados de intentar identificar los efectos específicos de cada factor de la estructura primaria del hábitat (% de cobertura de sombra, diversidad de especies, número de árboles, etc.) sobre las comunidades de vertebrados presentes en los sitios de estudio—cuando en realidad los efectos son más bien las combinaciones sinérgicas de estos factores y no sus sumas algebraicas—se aplicó un método capaz de combinar los diferentes factores en un Índice de Perturbación (IP), un valor único, inversamente proporcional al grado de perturbación de la estructura primaria del hábitat (al aumentar la perturbación disminuye el valor numérico, y viceversa) en cada uno de los 29 sitios de estudio.

Este índice está compuesto por porcentajes diferentes y variables de cada factor que determina las características del estrato arbóreo, obtenidos a través de un Análisis de Componentes Principales (Sokal & Rohlf 1999). Se tomaron en cuenta los nueve factores medidos durante la fase de campo: (i) % de sombra al nivel de los cafetos, (ii) % de sombra a nivel del suelo, (iii) número de especies de árboles, (iv) número de árboles, (v) número de árboles con flores y (vi) frutos, (vii) diámetro de los árboles al nivel del pecho (que para efectos de análisis se transformó en área basal), (viii) altura de los árboles, y (ix) número de árboles emergentes; más ocho factores adicionales, relacionados a las mediciones originales, que ayudan a describir mejor sus series: (i) coeficientes de variación del % de

sombra al nivel de los cafetos, (ii) del % de sombra a nivel del suelo, (iii) del área basal y (iv) de la altura de los árboles, (v) % de árboles con flores y (vi) con frutos, (vii) % de árboles emergentes y (viii) promedio del área basal. Estos 17 factores fueron analizados en una matriz de correlación y suprimidos aquellos con coeficientes de correlación “R” mayores de 0.9, por considerarlos prácticamente iguales a otros factores ya considerados; los factores así removidos fueron cuatro: (i) los coeficientes de variación de sombra a nivel de los cafetos y (ii) a nivel del suelo, (iii) el porcentaje de árboles con flores y (iv) la altura de los árboles (tabla 1).

Los trece factores restantes fueron sometidos a un Análisis de Componentes Principales (Sokal & Rohlf 1997), utilizando Minitab para Windows (Minitab Inc. 1996) (tabla 2). Este análisis arrojó los valores para Componentes Principales (CP) resumidos en la tabla 3. La mayor parte de la variación (90.7 %) observada en los datos colectados es explicada por los primeros cinco Componentes Principales, siendo el 43.5% del total explicado en términos del CP1, mientras que los componentes del CP2 al CP5 explican solamente del 19% al 5% de las variaciones registradas; los restantes ocho componentes (CP6 a CP13) explican menos del 4% de la variación cada uno (tabla 2, gráfico 1). De las 13 variables utilizadas, 10 contribuyen relativamente en igual grado al Componente Principal 1 (valores de correlación entre 0.167 a 0.380, con respecto a los valores de las variables originales), mientras que las tres restantes (número de árboles con flores y frutos, y % de árboles con frutos) no están correlacionadas o bien muestran correlaciones ligeramente negativas con respecto a CP1 (tabla 2).

Tabla 1. Matriz de Correlación de Pearson para las 17 variables estudiadas del hábitat.

Comentarios: Los coeficientes de correlación mayores de 0.90 aparecen en azul. Las 4 variables escogidas para remover de los análisis aparecen en rojo. Los coeficientes de correlación mayores de 0.80 aparecen en verde.

	% Sombra Café	CV-Sombra Café	% Sombra Suelo	CV – Sombra Suelo	Especies Árboles	Árboles con Flores	% Árboles Flores	Árboles con Frutos	% Árboles Frutos	Área Basal	Prom. Área Basal	CV – Área Basal	Altura Árboles	CV – Altura Árboles	Árboles Emer.	% Árboles Emer.
CV- Sombra Café	-0.969															
% Sombra Suelo	0.702	-0.661														
CV-Sombra Suelo	-0.729	0.685	-0.985													
Especies Árboles	0.896	-0.862	0.622	-0.650												
Árboles con Flores	0.005	-0.076	0.163	-0.094	-0.073											
% Árboles Flores	-0.076	0.002	0.182	-0.124	-0.145	0.917										
Árboles con Frutos	-0.064	0.015	0.090	-0.081	-0.108	0.012	0.012									
% Árboles Frutos	-0.220	0.223	0.010	0.001	-0.322	0.091	0.232	0.768								
Área Basal	0.791	-0.777	0.491	-0.527	0.876	-0.236	-0.340	-0.022	-0.323							
Prom. Área Basal	0.318	-0.245	0.415	-0.428	0.211	-0.112	0.035	-0.137	0.232	0.229						
CV – Área Basal	0.706	-0.664	0.465	-0.467	0.649	-0.092	-0.175	-0.255	-0.306	0.685	0.554					
Altura Árboles	0.612	-0.585	0.453	-0.492	0.523	-0.122	-0.142	-0.260	-0.293	0.463	0.447	0.529				
CV – Altura Árboles	0.389	-0.299	0.477	-0.471	0.309	0.112	0.152	-0.463	-0.127	0.126	0.626	0.389	0.478			
Árboles Emer.	0.731	-0.684	0.531	-0.568	0.644	-0.045	-0.132	-0.297	-0.362	0.602	0.351	0.533	0.907	0.560		
% Árboles Emer.	0.564	-0.510	0.482	-0.510	0.438	-0.022	-0.014	-0.328	-0.198	0.318	0.565	0.476	0.926	0.724	0.889	
Número Árboles	0.476	-0.499	0.194	-0.220	0.685	-0.247	-0.376	0.105	-0.376	0.717	-0.390	0.198	0.103	-0.242	0.234	-0.062

Tabla 2. Análisis de Componentes Principales: Análisis “Eigen” de la Matriz de Correlación, y contribuciones (coeficientes de correlación) de las 13 variables principales.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	CP11	CP12	CP13
Eigenvalue	5.6563	2.4576	1.8283	1.1286	0.7181	0.4325	0.2864	0.1730	0.1433	0.0915	0.0460	0.0342	0.0042
Proporción	0.435	0.189	0.141	0.087	0.055	0.033	0.022	0.013	0.011	0.007	0.004	0.003	0.000
Acumulativo	0.435	0.624	0.765	0.852	0.907	0.940	0.962	0.975	0.986	0.994	0.997	1.000	1.000
% Sombra Café	0.380	0.116	0.149	-0.117	-0.026	0.076	-0.013	-0.489	-0.495	0.135	0.542	0.067	0.007
% Sombra Suelo	0.296	-0.060	0.310	-0.255	0.001	-0.547	0.625	0.126	0.024	-0.038	-0.117	0.157	-0.042
Especies Árboles	0.368	0.239	0.076	-0.080	-0.060	-0.129	-0.303	-0.070	-0.282	-0.287	-0.529	-0.486	0.013
Árboles con Flores	-0.035	-0.163	0.082	-0.846	-0.277	0.271	-0.190	0.220	0.064	-0.066	0.068	0.023	0.023
Árboles con Frutos	-0.127	0.181	0.641	0.016	0.191	0.175	0.091	-0.074	0.392	0.060	0.202	-0.505	0.071
% Árboles con Frutos	-0.161	-0.160	0.627	0.104	0.089	0.043	-0.337	-0.109	-0.162	0.013	-0.325	0.522	-0.066
Área Basal	0.338	0.310	0.083	0.127	-0.141	0.109	-0.136	0.476	0.046	0.470	0.029	0.057	-0.513
Área Basal Promedio	0.207	-0.409	0.208	0.363	-0.296	-0.022	-0.107	0.472	-0.159	-0.235	0.299	-0.117	0.331
CV – Área Basal	0.333	-0.018	0.012	0.174	-0.564	0.331	0.174	-0.369	0.428	-0.077	-0.207	0.166	0.065
CV – Altura Árboles	0.251	-0.419	-0.078	-0.061	0.093	-0.451	-0.453	-0.229	0.406	0.318	0.075	-0.101	-0.008
Árboles Emergentes	0.362	-0.082	-0.075	-0.059	0.457	0.363	0.112	0.147	-0.024	0.352	-0.248	0.079	0.535
% Árboles Emergentes	0.315	-0.298	-0.050	0.017	0.459	0.285	0.041	0.007	0.125	-0.503	0.091	0.035	-0.487
Número Árboles	0.167	0.553	-0.024	-0.036	0.141	-0.185	-0.283	0.125	0.315	-0.361	0.230	0.379	0.297

Tabla 3. Valores correspondientes a los 13 Componentes Principales, para cada uno de los 29 sitios de estudio.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	CP11	CP12	CP13
FC01-A	-2.28466	0.33359	0.22207	-0.60986	-0.15502	1.06712	-0.51967	0.418073	-0.24489	-0.07411	0.055765	-0.08266	0.042727
FC01-B	-1.59878	0.09988	-0.91705	0.05191	-0.40094	-0.00144	0.93307	0.481212	-0.55306	-0.17445	-0.08946	0.018716	0.040537
FC02-A	-0.68145	-0.92186	1.35114	0.6597	-0.04264	-0.10869	-0.80715	-0.78828	-0.44746	0.252864	-0.06921	0.136226	0.098589
FC02-B	-1.86678	0.63855	-0.37108	0.12344	0.04975	0.49629	0.32488	-0.98545	-0.11642	0.05415	-0.22437	0.123153	-0.01253
FC03-A	0.48471	-1.1261	0.64623	0.10251	-0.30539	-0.22461	-0.41571	-0.05811	-0.08565	-0.07898	-0.01828	-0.22698	0.045231
FC03-B	1.35697	-1.12234	1.74912	0.96991	-0.35804	-0.19796	-0.52775	0.176385	-0.0917	0.128435	0.306032	-0.25873	0.049282
FC04-A	-0.37403	-1.20932	0.94692	-2.51484	-0.16258	0.02488	-0.25794	0.595057	-0.14594	-0.23665	-0.05388	0.023915	-0.09079
FC04-B	-0.57145	-0.18413	1.16093	-1.11257	0.35848	-0.63015	-0.01702	-0.60406	-0.13811	0.171019	-0.23607	-0.11727	-0.09277
FC05-A	-2.34874	0.68775	-2.61088	0.95948	0.2963	0.54614	-0.6383	-0.13759	-0.26539	0.163832	0.121117	-0.33749	-0.02549
FC05-B	-2.56576	1.3905	-2.76685	0.88467	0.41376	0.42115	-0.50436	0.291391	0.560472	-0.22109	-0.40511	0.122617	0.015816
FC06-A	-1.24669	1.03708	-1.73829	-0.15707	0.13299	-0.28037	0.13142	-0.40965	-0.05809	0.147698	0.28203	0.210391	-0.09061
FC06-B	-1.01471	-0.72974	0.20117	-0.12134	-0.10938	-0.67219	0.15935	0.074053	-0.46373	0.229784	0.135702	0.020241	0.063406
FC07-A	-1.52455	0.51577	0.96996	-0.00622	-0.27946	0.62735	0.62724	-0.40425	-0.5586	-0.07853	0.02601	0.35114	0.028759
FC07-B	-1.76839	0.54357	4.02627	0.70025	0.17867	0.68423	0.04628	0.437378	0.331441	0.060648	-0.33903	0.032305	-0.01098
FC07-C	-0.80941	0.89817	-0.6332	0.88609	-0.32696	0.52253	-0.07114	0.239142	-0.46287	-0.00923	0.22554	-0.2175	-0.04996
FC07-D	-0.62626	-0.57988	-0.44321	-0.40562	-0.86668	-0.02712	0.07869	-0.0456	0.353916	0.202081	0.062034	0.040466	0.065046
FC08-A	-2.07478	0.89124	0.972	0.73221	0.5951	0.26361	0.04035	0.308063	0.318561	0.262001	0.099064	-0.15787	-0.10833
FC08-B	-1.63581	2.21913	1.48853	0.39838	0.99114	0.07101	1.03547	-0.16459	0.814641	-0.06472	0.332018	-0.02752	0.042449
FC09-A	-0.73646	-3.36889	-0.05143	1.63814	0.44398	-0.50148	-1.01122	0.131135	0.358632	-0.46488	0.100984	0.425711	-0.0559
FC09-B	-1.55348	-1.75754	-1.27916	0.68308	0.31771	-1.57816	0.71042	0.332081	0.336997	0.232312	-0.19011	-0.12226	0.120693
FC10-A	-0.27214	-0.46092	-0.47397	-2.95304	-0.05223	0.04279	-0.63477	-0.36711	0.703302	0.249042	0.161907	-0.05044	0.030344
FC10-B	0.25162	-0.08621	-0.92949	-1.69898	-1.76529	0.61351	0.25796	0.318605	0.174416	-0.26023	0.038064	0.111135	0.060883
FC12-A	0.38662	-1.21143	0.10182	0.33677	-0.08152	-0.30413	0.5111	0.169544	-0.38234	-0.52346	-0.10387	-0.07921	-0.04416
FC12-B	-0.2599	-1.04291	-0.41755	-0.67367	0.23349	-1.12543	0.53911	-0.03551	-0.07044	0.093548	-0.03423	-0.06516	-0.12688
BN1-A	3.01619	4.90832	0.54539	-0.25356	0.14402	-1.35721	-0.60641	-0.17051	-0.09465	-0.78162	0.049832	-0.04656	0.041998
BN1-B	4.6232	2.41807	-0.33881	0.02686	0.43547	-0.3204	-0.30495	0.831065	-0.27808	0.851136	-0.03664	0.368624	-0.00853
BN1-C	5.11487	0.29312	-0.27235	1.07304	-2.0439	0.25123	0.08705	-0.35149	0.350933	0.145575	-0.45227	-0.17558	-0.0516
BN1-D	5.15854	-1.46431	-0.3175	1.08991	-0.595	0.64582	0.57868	-0.17411	0.309654	-0.11884	0.42408	0.09123	-0.03286
BN2-A	5.42151	-1.60914	-0.82074	-0.8096	2.95417	1.05168	0.25532	-0.10687	-0.15556	-0.15734	-0.16767	-0.11065	0.055612

La gráfica de puntos (gráfico 1) de los valores “Eigen” y los Componentes Principales, claramente evidencia que la mayoría de la variación de los datos es explicada por los primeros cinco Componentes, especialmente el Componente Principal 1 (CP1). Más aún, el gráfico 2, de comparación entre CP1 y CP2, muestra que solamente el primer componente separa los puntos correspondientes a bosques naturales de los correspondientes a hábitat más perturbados (plantaciones de café).

Gráfico 1. Diagrama de la relación de los valores “Eigen” con respecto a cada uno de los 13 Componentes Principales. Nótese como los primeros cinco componentes explican la mayor parte de la variación (90.7%).

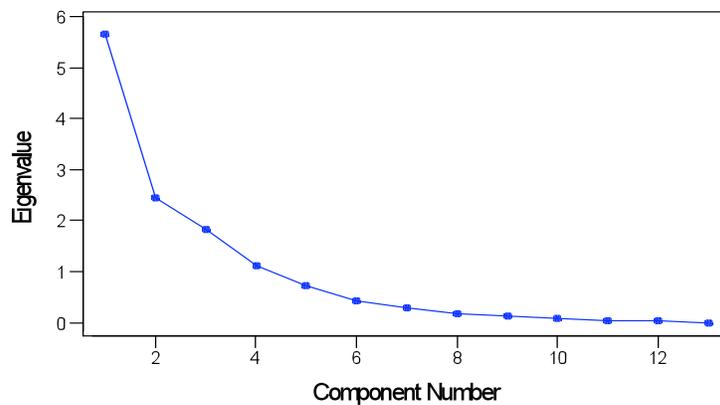
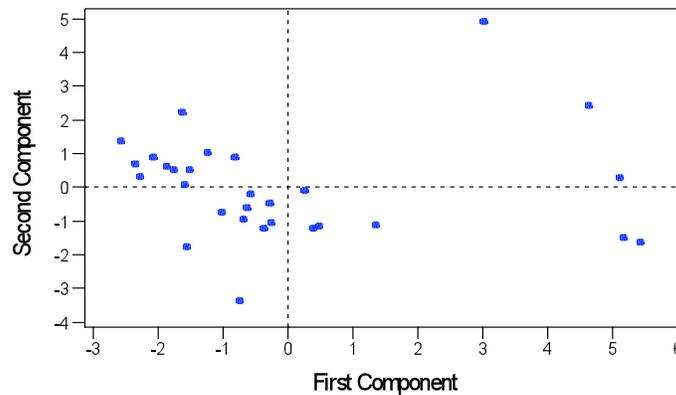


Gráfico 2. Dispersión de valores del primer Componente Principal (CP1) con respecto al segundo Componente Principal (CP2). Nótese como los puntos correspondientes a los hábitat perturbados (cafetales) quedan bien diferenciados de los correspondientes a bosques naturales (los cinco de la derecha) sobre el eje correspondiente al CP1 (eje “X”), no así sobre el eje correspondiente al CP2 (eje “Y”).



El componente principal con el mayor valor “Eigen” (PC1) fue seleccionado para ser utilizado como Índice de Perturbación. Este Índice fue utilizado para analizar el comportamiento de las poblaciones de diferentes especies de animales ante los cambios estructurales del hábitat. El rango de valores sobre el eje principal (PC1) fue ajustado para que todos los valores fueran positivos, sumando 3 a cada valor.

Especies Indicadoras (Análisis de Especies Utilizando el Índice de Perturbación (IP))

Se utilizó un gráfico de dispersión y un análisis de regresión, utilizando los valores del IP como variable de predicción (variable independiente) y los promedios de abundancia de las especies de cada grupo en cada sitio como la variable de respuesta (variable dependiente) (Bailey 1996), con el objeto de evidenciar el comportamiento de la abundancia de cada especie ante las variaciones en estructura del hábitat y poder separarles en patrones principales de respuesta: (i) especialistas de bosque, (ii) sensibles a la perturbación del hábitat, (iii) no sensibles a la perturbación del hábitat, (iv) que prefieren hábitat perturbados, (v) especialistas de hábitat perturbados. Las especies que fueron registradas en menos de tres de los 29 sitios de estudio no fueron incluidas en el análisis, por carecer de puntos suficientes para su evaluación comparativa.

Aquellas especies que mostraron cambios significativos y constantes en sus poblaciones, de acuerdo a los valores del IP, fueron reconocidas como sensibles a los cambios en la estructura del hábitat, y utilizadas para análisis pareados con cada uno de los factores principales de la estructura del hábitat. De esta manera, estas especies se convierten en indicadores, que pueden predecir las mejores condiciones de cada factor utilizado como criterio de certificación, para mejorar el desempeño de los cafetales como hábitat para especies nativas.

La distinción y análisis separado de estas especies indicadoras es necesario para comprender los efectos específicos de cada factor de la estructura arbórea, puesto que al intentar analizar el total de las especies, el resultado es muy confuso. El problema radica en que sólo algunos de los animales presentes en las plantaciones son sensibles a los cambios del hábitat, mientras que otros no lo son o bien responden con mayor fuerza a factores que no tienen que ver con la estructura (como fuentes temporales de alimento), lo que genera interferencia en el análisis y puede ocultar la respuesta de aquellas especies que sí son sensibles. Adicionalmente, las especies responden de manera diferente a los cambios en el hábitat, algunas responden positivamente ante algún(os) cambio(s) mientras que otras responden negativamente ante el(os) mismo(s) cambio(s); por ejemplo, la disminución de la cobertura de sombra podría aumentar la cantidad de individuos y especies de zonas perturbadas, como palomas (Columbidae), y al mismo tiempo disminuir la cantidad de individuos y especies de bosques, como trepatroncos (Dendrocolaptidae). Estas respuestas opuestas pueden llegar a cancelarse en el análisis.

Índice de Importancia de Conservación de la Biodiversidad

El número de especies indicadoras (sensibles a la perturbación de la estructura primaria del hábitat) en cada parcela, fue utilizado como un Índice de Importancia de Conservación de la Biodiversidad, utilizándole como variable dependiente en análisis de regresión, con los cuales se evaluaron los parámetros del hábitat utilizables como posibles criterios ecológicos para la certificación de cafetales.

Como una manera alternativa de análisis, y con el objeto de lograr diferenciar sitios de acuerdo a la importancia que estos representan para la conservación de la biodiversidad, se diseñó un índice que asigna valores diferentes a diferentes especies, de acuerdo a las características de su estatus global y nacional, estacionalidad, papel en el ecosistema, y a su abundancia y reproducción en el sitio en cuestión. El beneficio de este tipo de índice es que incluye información de todas las especies presentes, pero su debilidad es que la valorización resulta subjetiva.

Los puntos acumulados de esta forma son finalmente sumados para todas las especies que ocurren en un sitio determinado, obteniéndose así el índice de Importancia de Conservación de la Biodiversidad correspondiente a cada sitio, cuyo valor es mayor en cuanto ecológicamente más “importante” (o de mayor interés) resulta ser la comunidad que alberga. Las especies que obtienen el mayor número de puntos son aquellas más sensibles y que se están beneficiando más de un sitio; mientras que los sitios que tienen el mayor puntaje total (la suma de los puntos contribuidos por todas sus especies) son los sitios más importantes para la conservación de la biodiversidad.

Puesto que el método utilizado para calcular este Índice se basa en la veracidad de la información disponible sobre el estatus, estacionalidad, papel ecológico y uso de sitios de las especies, su empleo se restringe para aquellos grupos de los que se disponga de mayor información. Por tanto, en el presente caso el grupo seleccionado como base para los correspondientes cálculos es el mismo utilizado en todo el estudio como indicador, las aves.

Los valores del Índice, obtenidos para cada una de las parcelas de estudio, son luego utilizados como variable dependiente o de respuesta, en un análisis de regresión con los valores de los parámetros de hábitat siendo considerados como posibles indicadores de cafetales amigables con la biodiversidad.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VII.1. Estructura Arbórea del Hábitat.-

Dentro de los círculos para muestreo de vegetación (9 círculos de 555.56 m² c/u, en total 0.5 ha por parcela) de 29 parcelas (24 en cafetales (equivalentes a 12 ha) y 5 en bosques naturales (equivalentes a 2.5 ha)) del estudio, se registró en total la presencia de 230 especies de árboles (todas aquellas plantas de al menos 5 cm de DAP). Las especies detectadas se agrupan dentro de 60 familias y pueden dividirse de la siguiente manera: 209 especies nativas, 21 exóticas, 137 presentes en cafetales, 147 presentes en bosques, 83 encontradas sólo en cafetales y 93 encontradas sólo en bosques. De acuerdo al listado del anexo 14.

Casi todos los parámetros utilizados para la caracterización de la estructura primaria del hábitat se registraron en gradientes de amplio rango en el conjunto de parcelas: la cobertura de sombra a nivel de los cafetos varió de 19.80 a 66.53 % en las parcelas de cafetal, durante la época seca (gráfico 1) y de 18.46 a 70.45 % en fincas y 89.93 a 94.15 % en bosques, durante la estación lluviosa (gráfico 2); el total de árboles en 0.5 ha. estuvo entre 23 y 378 para fincas y de 186 a 827 en bosques (gráfico 4); el número de especies de árboles en 0.5 ha. osciló entre 5 y 39 en fincas y de 49 a 93 en bosques (gráfico 5), mientras que las especies de árboles nativos fueron de 5 a 35 en fincas y de 49 a 91 en bosques (gráfico 6); el número de árboles con flores registrados en las fincas, durante estación seca, fue de 0 a 46 (gráfico 7) y el correspondiente porcentaje de 0 a 75 % (gráfico 8); durante la estación lluviosa los árboles con flores oscilaron entre 0 a 25 para fincas y 0 a 7 en bosques (gráfico 9) y los correspondientes porcentajes de 0 a 0.21 y de 0 a 0.03 %, respectivamente (gráfico 10); para el caso de árboles con frutos, los totales van de 0 a 21 para fincas, durante la época seca (gráfico 11), correspondientes porcentajes de 0 a 20.19 % (gráfico 12), y de 0 a 117 para fincas y 3 a 45 en bosques, durante época de lluvias (gráfico 13), porcentajes respectivos de 0 a 0.65 % y de 0.01 a 0.05 % (gráfico 14); el área basal total oscila de 11,922.8 a 84,095.9 cm² en fincas y de 86,794.3 a 183,170.9 cm² en bosques (gráfico 15), mientras que los respectivos promedios van de 127.31 a 594.29 cm² y de 170.30 a 625.89 cm² (gráfico 16); los árboles emergentes son de 0 a 14 en fincas y de 9 a 99 en bosques (gráfico 17), porcentajes respectivos de 0 a 0.17 % y de 0.01 a 0.44 % (gráfico 18). Esta amplia distribución de los datos ayuda al análisis estadístico, fortaleciendo la confiabilidad de los datos. Por otra parte, dos de las características registradas, porcentaje de sombra al nivel del suelo durante época lluviosa y promedio de altura del dosel de sombra, registraron gradientes de dispersión considerablemente menores, con valores de 64.79 a 93.04 % para fincas y 93.59 a 95.12 % para bosques, en el caso de la sombra (gráfico 3), y de 6.86 a 9.11 m para fincas y 7.94 a 14.22 m para bosques, en el caso de la altura promedio (gráfico 19). (Anexo 15)

Gráfico 1. Porcentajes de sombra a nivel de los cafetos, época seca

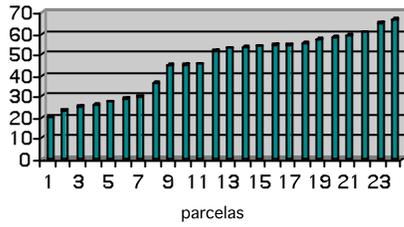


Gráfico 2. Porcentajes de sombra a nivel de los cafetos, época lluviosa

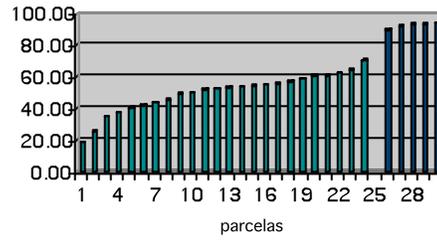


Gráfico 3. Porcentajes de sombra al nivel del suelo, época lluviosa

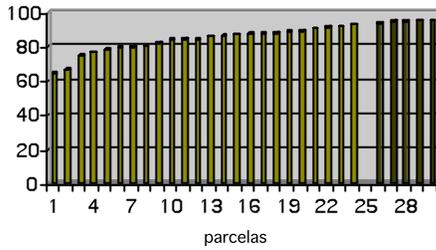


Gráfico 4. Total de árboles en 0.5 ha.

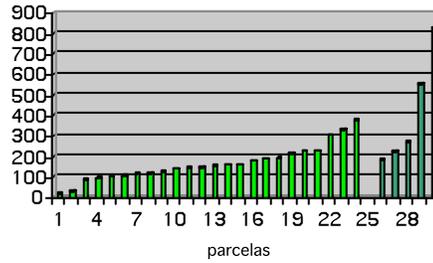


Gráfico 5. Especies de árboles en 0.5 ha.

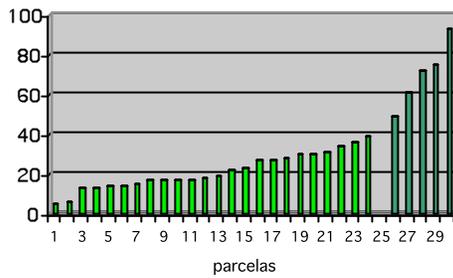


Gráfico 6. Especies de árboles nativos en 0.5 ha.

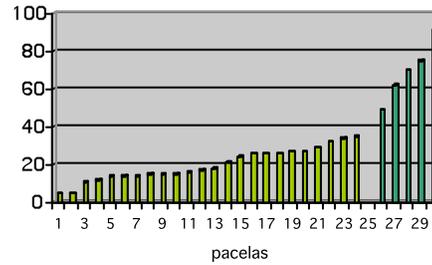


Gráfico 7. No. de árboles con flores en 0.5 ha, época seca

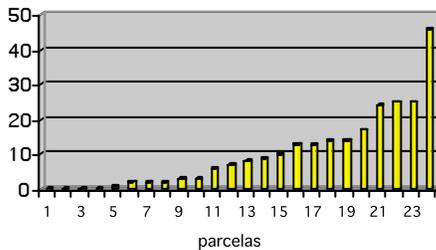


Gráfico 8. Porcentaje de árboles con flor, época seca

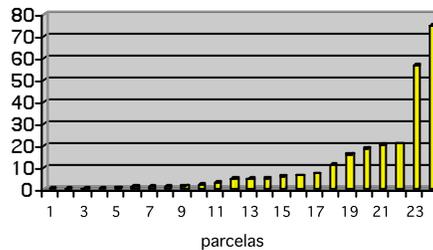


Gráfico 9. No. de árboles con flor en 0.5 ha, época lluviosa

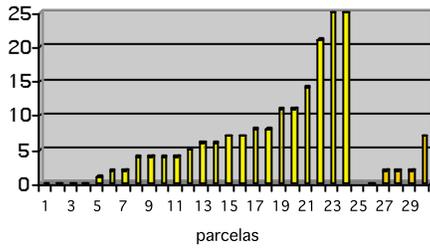


Gráfico 10. Porcentajes de árboles con flores, época lluviosa

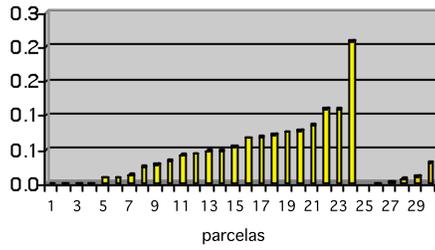


Gráfico 11. No. de árboles con frutos en 0.5 ha, época seca

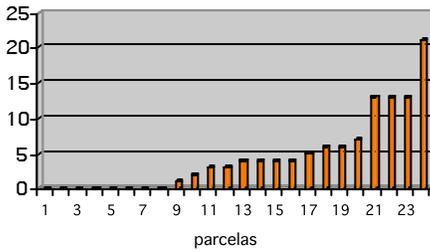


Gráfico 12. Porcentajes de árboles con frutos, época seca

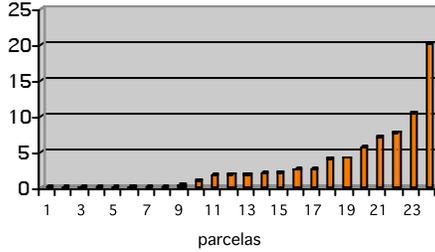


Gráfico 13. No. de árboles con frutos en 0.5 ha, época lluviosa

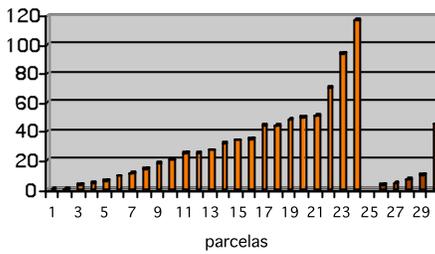


Gráfico 14. Porcentajes de árboles con frutos, época lluviosa

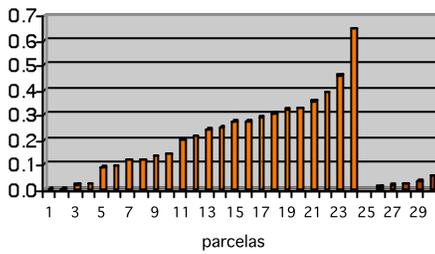


Gráfico 15. Área basal total (cm²) en 0.5 ha.

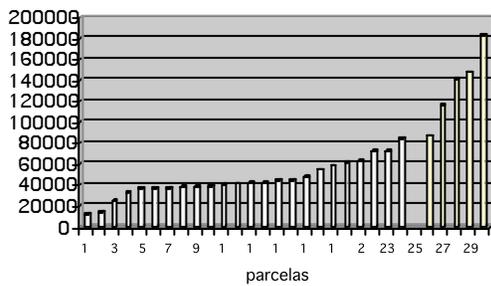


Gráfico 16. Área basal promedio (cm²)

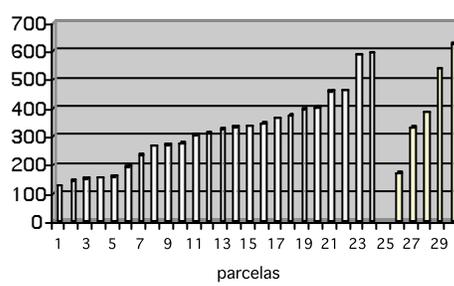
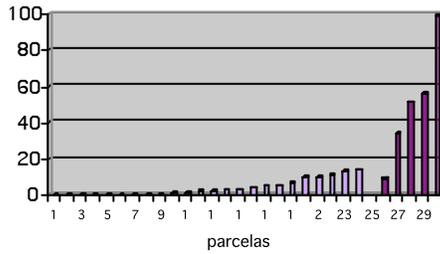


Gráfico 17. No. de árboles emergentes (>13m) en 0.5 ha.



Gráficos 18. Porcentaje árboles emergentes (>13m)

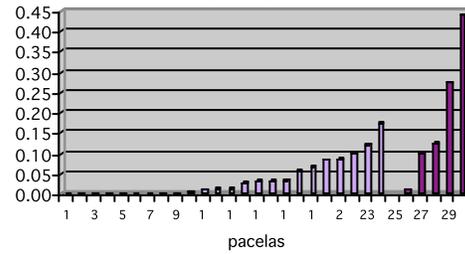
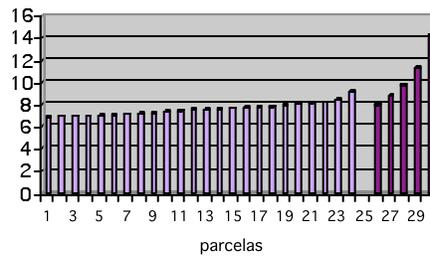


Gráfico 19. Promedio de altura del docel de sombra (m)



Los datos registrados sobre estructura arbórea, incluyendo porcentajes de cobertura de sombra a nivel de los cafetos y del suelo, para cada una de las 29 parcelas de estudio, se detallan en los anexos del 16 al 44.

VII.2. Fauna.-

VII.2.a. Anfibios.-

Durante la conducción del estudio se registró la presencia de 8 especies de anfibios (una de ellas, *Bufo leutkeni*, sólo fue encontrada fuera de las parcelas de estudio), pertenecientes a 5 familias. De acuerdo a su estado: 3 especies amenazadas; según distribución: 2 encontradas sólo en bosques. Ninguna de estas especies fue detectada durante la estación seca (ronda 1 del estudio), todas pertenecen a la estación lluviosa (ronda 2 del estudio). De acuerdo al listado del anexo 45.

Anfibios Durante la Estación Seca

Durante la primera ronda del estudio se invirtió un total de 490 horas en censos, pero no se detectó la presencia de ningún anfibio (probablemente dado su ciclo de estivación).

Anfibios Durante la Estación Lluviosa

Un total de 37 anfibios, de 7 especies (36 anuros, de 6 especies, y una salamandra), fue detectado después de 680 horas de censos en 29 parcelas (24 en cafetales y 5 en bosques naturales), durante la época lluviosa (0.05 anfibios por hora de muestreo). Cuarenta y cuatro individuos adicionales fueron contabilizados fuera de censos, incluyendo una especie de sapo no registrada durante censos. El anexo 46 contiene el resumen de las observaciones de anfibios efectuadas durante la estación lluviosa, en cada una de las 29 parcelas de estudio.

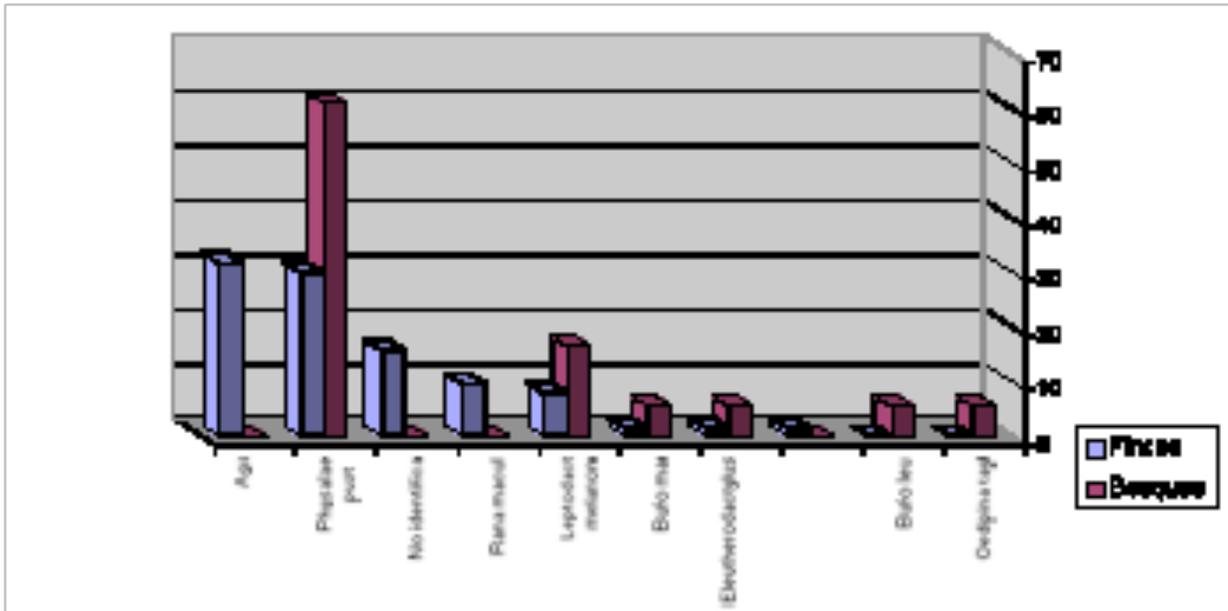
Análisis de Anfibios

Los datos obtenidos para anfibios, al igual que los correspondientes a reptiles, son demasiado escuetos para poder extraer de ellos conclusiones estadísticamente sustentadas. Las abundancias eran demasiado bajas para detectar cuantitativamente cuales especies podrían beneficiarse de la certificación ecológica, o servir como indicadores de la aplicación de agroquímicos en las plantaciones. Solamente 2 especies de anuros (un sapo y una rana) fueron encontrados en más de 2 parcelas (en 4 parcelas), y ninguna de ellas mostró relación numérica con la estructura del hábitat ni con los agroquímicos aplicados. Aunque 2 de las 6 especies detectadas en cafetales (33.3 %) se listan como "amenazadas" por MAG (1998), anexo 45, la falta de estudios para respaldar los estados de conservación asignados por MAG hace prematuro concluir que los cafetales proporcionan hábitat para poblaciones de anfibios amenazadas de extinción.

La frecuencia de detección en fincas fue ligeramente superior a la obtenida en bosques, 0.06 vs. 0.05. Posiblemente debido a problemas de detección en un hábitat de mayor complejidad estructural o bien por la cercanía de cuerpos de agua. Debe recordarse que esta medida no se refiere al número de animales presente, sino a la facilidad de encontrarlos. De cualquier manera, no puede dar pie a ninguna conclusión.

El perfil de abundancia relativa (gráfico 20) no parece indicar un patrón significativamente diferente entre cafetales y bosques naturales, con la posible excepción de 1 especie, *Agalychnis moreletii*, que parece preferir hábitat perturbados, y fue mayormente encontrada en estanques artificiales fuera de las parcelas.

Gráfico 20. Abundancia relativa (expresada en porcentaje) de las especies de anfibios detectadas en cafetales y bosques.



Las curvas de acumulación de especies, generadas por las especies detectadas solamente en los transectos, apoyan estas conclusiones, y demuestran que una enorme cantidad de trabajo de campo será necesario para completar el inventario. Recomendamos que la actividad de colecta de especímenes en cafetales y en bosques continúe, según la disponibilidad de investigadores, poco a poco, hasta que la acumulación de especies se reduce.

VII.2.b. Reptiles.-

Durante la conducción del estudio se registró un total de 22 especies de reptiles, de 7 familias (5 familias de saurios (lagartijas), con 11 especies, y 2 familias de serpientes, con 12 especies). De éstas sólo 15 se registraron durante los censos estandarizados, mientras que las restantes 8 se encontraron en los sitios de estudio pero no durante la conducción de los censos. Cinco especies se encontraron sólo en bosques (4 durante censos y 1 fuera de censos). Una de las especies es considerada en peligro de extinción, mientras que 6 son consideradas amenazadas, todas al nivel nacional (MAG 1998). Diez se detectaron durante la primera ronda del estudio, estación seca, y 19 durante la segunda ronda, estación lluviosa, no habiendo encontrado 3 de las especies reportadas durante la primera ronda, pero adicionando 12 nuevas. De acuerdo al listado del anexo 47.

Una especie adicional, *Gonatodes albogularis* de la familia Gekoniidae, fue encontrada en algunas fincas sólo en las edificaciones (tal como ocurre en las casas de zonas urbanas), por lo que no se le incluyó como parte de los datos de estudio.

Reptiles Durante la Estación Seca

Durante la primera ronda del estudio se invirtió un total de 490 horas en censos, registrando 265 reptiles (229 animales de 9 especies, 6 familias, más 36 de especie no determinada) en 24 parcelas de cafetal muestreadas. La frecuencia de detección para reptiles fue por tanto de 0.54 animales por hora durante la estación seca. Adicionalmente, 1 especie de lagartija y 2 especies de serpientes fueron detectadas solamente fuera de los censos. El anexo 48 contiene el detalle de individuos encontrados por parcela para cada especie, durante época seca. Ninguna de éstas se considera en peligro de extinción, mientras 3 se consideran amenazadas en El Salvador (MAG 1998).

Reptiles Durante la Estación Lluviosa

El total de reptiles registrados en 29 parcelas de muestreo (24 en cafetales y 5 en bosques), durante la estación lluviosa, fue de 202 individuos (179 de 12 especies, dos de éstas sólo encontradas en las parcelas de bosque; más 23 de especie no determinada), con una inversión de 680 horas en censos. Implicando una frecuencia de detección de sólo 0.30 animales por hora, considerablemente menor al dato de estación seca.

A pesar de que el número de animales detectados es mayor durante la estación seca, la riqueza de especies resultó mayor para la estación lluviosa: 18 (9 especies de lagartijas y 9 de serpientes) versus 9 especies (4 lagartijas y 5 serpientes). Aunque 3 especies de serpientes fueron detectadas sólo durante la estación seca (anexo 47), su baja detección (sólo un individuo de cada una) sugiere que por azar se encontraron en una estación y no en la otra, aumentando las posibilidades de encontrarles también durante la época de lluvias, si se aumenta el tiempo de censos. Dada la composición de las comunidades de reptiles observadas durante las dos estaciones, pareciera ser más fructífero aumentar los esfuerzos durante la época de lluvias, con el fin de obtener más datos de más especies, aún a costa de eliminar los censos durante la estación seca (esta observación se refuerza si consideramos la total ausencia de anfibios al no haber lluvias, y las razones prácticas de inventariar ambos grupos juntos).

Aunque la frecuencia de detección en fincas fue muy superior a la obtenida en bosques, 0.35 vs. 0.06, debe recordarse que esta medida no se refiere al número de animales presente, sino a la facilidad de encontrarles (la cual puede verse grandemente reducida dada la complejidad estructural de un bosque).

El anexo 49 contiene el detalle de individuos encontrados durante la estación lluviosa, por parcela para cada especie. Una de éstas se considera en peligro de extinción, mientras 4 se consideran amenazadas en El Salvador (MAG 1998).

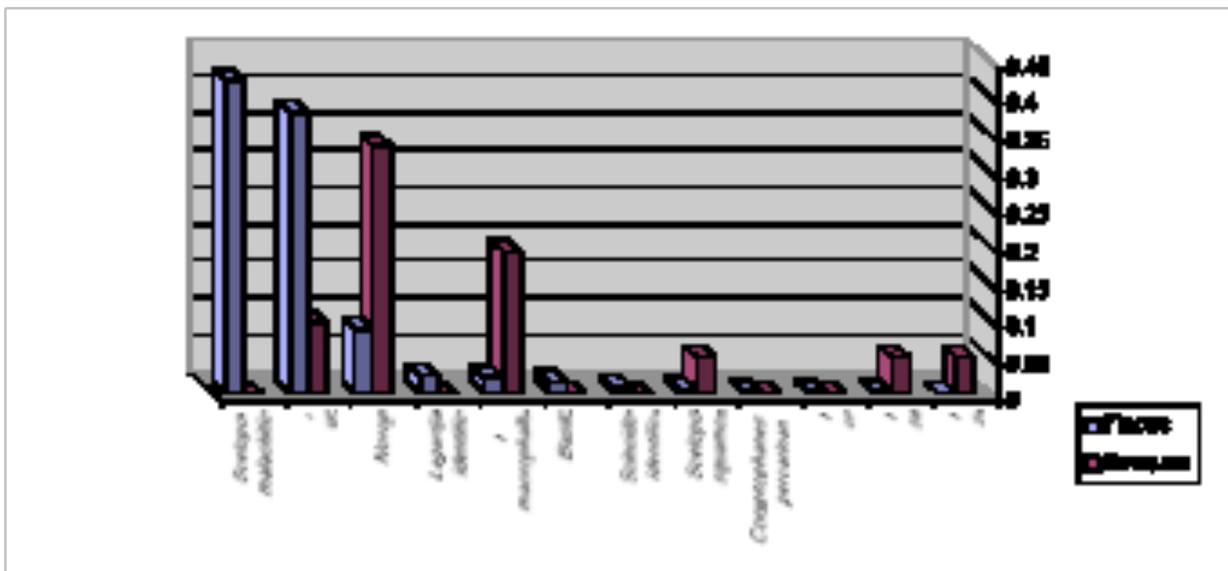
Análisis de Reptiles

Los datos obtenidos para reptiles, al igual que los correspondientes a anfibios, son demasiado escuetos para poder extraer de ellos conclusiones estadísticamente sustentadas. Las abundancias eran demasiado bajas para detectar cuantitativamente cuales especies podrían beneficiarse de la certificación ecológica. Durante la estación seca solamente 4 especies de lagartijas y 1 de serpiente fueron detectadas en más de 2 parcelas (2 de estas 5 especies sólo se encontraron en 3 parcelas) y, similarmente, 4 lagartijas durante la época lluviosa (1 sólo se detectó en 3 parcelas); ninguna mostró sensibilidad significativa a los cambios en la estructura del hábitat.

El 27.3 % de las especies de reptiles encontradas en el estudio se listan como "amenazadas" por MAG (1998), anexo 47; sin embargo, la falta de estudios para respaldar los estados de conservación asignados por PANAVIS hace prematuro concluir que los cafetales proporcionan hábitat para poblaciones de reptiles amenazadas de extinción.

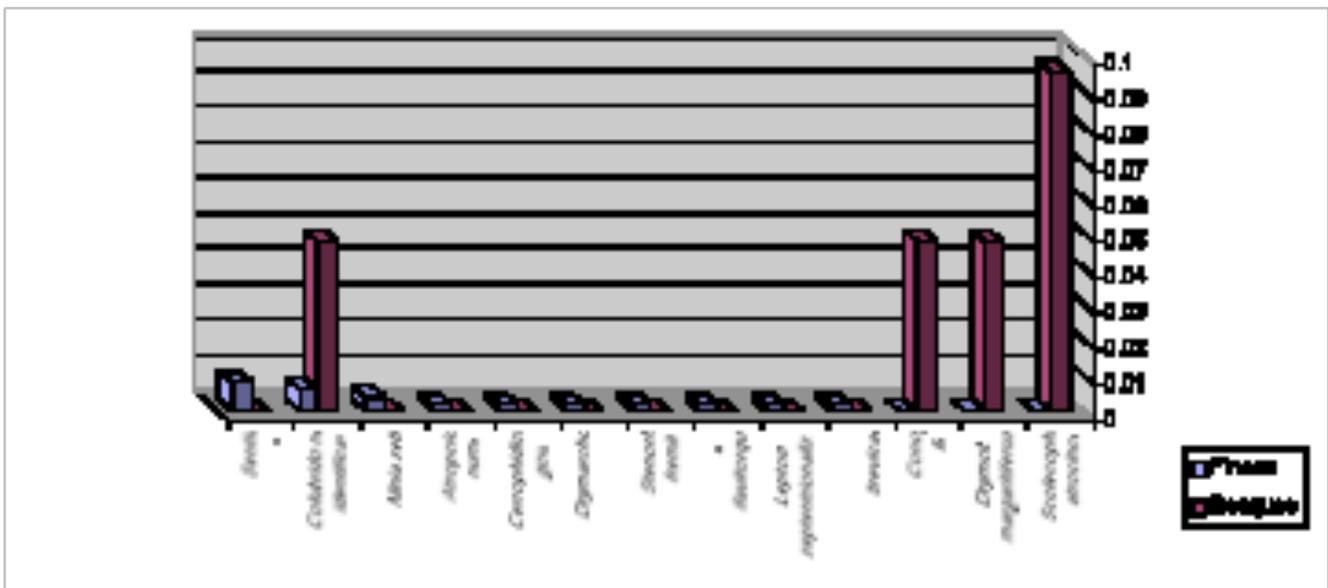
La abundancia de los reptiles sugiere una situación en general bastante pesimista para la conservación en cafetales. De las 471 lagartijas detectadas en cafetales durante el estudio 389 (82.6 %) pertenecían a sólo 2 especies, igualmente abundantes, *Ameiva undulata* y *Sceloporus malachiticus*. Las restantes 10 especies sólo suman el 17.4 % de las detecciones, con 1 a 42 avistamientos cada una. El perfil de abundancia relativa encontrado en cafetales, con muchos individuos de pocas especies, es típico de hábitat fuertemente perturbados, en contraposición con sistemas en que el número de individuos se distribuye más homogéneamente entre el total de especies, como el observado en bosques (gráfico 21).

Gráfico 21. Abundancia relativa (expresada en porcentaje) de las especies de lagartijas detectadas en cafetales y bosques.



La presencia relativamente mayor de reptiles en los cafetales que en los bosques, no debe interpretarse como una indicación del valor de los cafetales para la conservación de reptiles, sino simplemente que algunas (pocas) especies de reptiles están adaptadas a las condiciones adversas en cafetales. El caso de las serpientes nos lleva a igual conclusión, por diferente vía de razonamiento; el problema aquí no es la dominancia numérica de pocas especies, ya que sus abundancias relativas son cercanas (gráfico 22), sin embargo, se requirió de 1040 horas de censos en cafetales para detectar 16 serpientes de 9 especies (3 individuos no pudieron ser identificados), mientras que 130 horas de censos en bosques naturales detectaron 5 serpientes de 3 especies (1 individuo no fue identificado); esto significa 0.02 individuos y 0.01 especies detectados por hora, versus 0.04 y 0.03, notablemente más alto en bosques naturales.

Gráfico 22. Abundancia relativa (expresada en porcentaje) de las especies de serpientes detectadas en cafetales y bosques naturales.



Las curvas de acumulación de especies, generadas por las especies detectadas solamente en los transectos, apoyan estas conclusiones, y demuestran que una enorme cantidad de trabajo de campo será necesario para completar el inventario. Recomendamos que la actividad de colecta de especímenes en cafetales y en bosques continúe, según la disponibilidad de investigadores, poco a poco, hasta que la acumulación de especies se estabilice.

VII.2.c. Aves.-

Durante la conducción del estudio se registró en total la presencia de 138 especies de aves dentro del espacio de censos de dos horas diarias de cada parcela de 5.0 ha. Las especies detectadas se agrupan dentro de 34 familias y pueden dividirse de la siguiente manera: 101 especies residentes,

37 migratorias, 107 presentes durante la estación seca o migratoria (de las cuales 40 ya no se registraron durante la estación lluviosa o reproductiva), 98 presentes durante la estación lluviosa o reproductiva (de las cuales 31 no se habían registrado durante la estación seca o migratoria), 12 presentes sólo en bosques, 19 en peligro, 42 amenazadas a nivel nacional (Komar & Domínguez 2001) y 3 especies endémicas al norte de Centroamérica. De acuerdo al listado del anexo 50.

Aves Durante la Estación Seca o Migratoria

El total de especies de aves registradas en los 24 sitios de muestreo en cafetales durante la estación migratoria es de 107 especies, pertenecientes a 31 familias. De éstas, 8 se encuentran en peligro de extinción a nivel nacional, 33 amenazadas, y 2 son endémicas del norte de Centroamérica.

El anexo 51 contiene la información de especies residentes registradas por parcela durante la estación seca, así como sub-totales por parcela y por especie.

El anexo 52 contiene la información de especies migratorias registradas por parcela durante la estación seca, así como sub-totales por parcela y por especie.

Aves Durante la Estación Lluviosa o Reproductiva

El total de especies de aves registradas en los 29 sitios de muestreo (24 parcelas en cafetales y 5 en bosques), durante la estación reproductiva, es de 98 especies, de 32 familias, 86 de las cuales se registraron al menos en una de las parcelas en cafetal, mientras las 12 especies restantes fueron detectadas sólo en bosques naturales. De las especies presentes en cafetales 7 se encuentran en peligro de extinción a nivel nacional, 28 amenazadas, y 2 son endémicas del norte de Centroamérica.

El anexo 53 contiene la información de especies registradas por parcela, así como sub-totales por parcela y por especie.

Análisis de Aves utilizando el Índice de Perturbación

Se analizaron las tendencias de 67 de las 98 especies de aves residentes registradas durante la estación reproductiva, entre mayo y septiembre del 2000, utilizando el Índice de Perturbación de hábitat obtenido (ver sub-secciones sobre Índice de Perturbación, en Metodología y Resultados - Discusión). Las 31 especies restantes no fueron incluidas en el análisis pues habían sido registradas para menos de tres parcelas, una en muchos casos, por lo que los registros eran insuficientes para un análisis comparativo.

Como resultado del análisis, se pueden distinguir cinco diferentes grupos de especies, de acuerdo a su reacción ante cambios en el hábitat, estos son:

- I. **Especies especialistas de bosque.** Especies que no se encuentran en los hábitat degradados (cafetales). 2 especies, *Cyanocompsa parcellina* ($r = 0.650$, $P = <0.005$) y

Oncostoma cinereigularis ($r = 0.446$, $P = <0.01$). Otras especies encontradas sólo en bosque fueron detectadas sólo en una o dos de las parcelas y por lo tanto no fueron consideradas en el análisis comparativo. (Gráfico 23)

- II. Especies sensibles a la perturbación del hábitat.** Especies abundantes en las parcelas de bosque, pero cuya abundancia declina a medida que aumenta la perturbación del hábitat. 14 especies: *Aulacorhynchus prasinus* ($r = 0.354$, $P = <0.05$), *Catharus aurantiirostris* ($r = 0.409$, $P = <0.025$), *Chiroxiphia linearis* ($r = 0.552$, $P = <0.005$), *Cyclarhis gujanensis* ($r = 0.274$, $P = >0.05$), *Euthlypis lacrimosa* ($r = 0.755$, $P = <0.005$), *Hylophilus decurtatus* ($r = 0.747$, $P = <0.005$), *Melozone leucotis* ($r = 0.397$, $P = <0.025$), *Mionectes oleagineus* ($r = 0.422$, $P = <0.025$), *Myiopagis viridicata* ($r = 0.412$, $P = <0.025$), *Thryothorus maculipectus* ($r = 0.400$, $P = <0.025$), *Thryothorus rufalbus* ($r = 0.671$, $P = <0.005$), *Tolmomyias sulphurescens* ($r = 0.535$, $P = <0.005$), *Trogon elegans* ($r = 0.488$, $P = <0.005$) y *Xiphorynchus flavigaster* ($r = 0.673$, $P = <0.005$). (Gráfico 24)
- III. Especies no sensibles a la perturbación del hábitat.** Especies más o menos igualmente abundantes en todas las parcelas muestreadas, sin cambios significativos en abundancia al cambiar las condiciones del hábitat. 26 especies, como: *Momotus momota* y *Amazilia beryllina*. (Gráfico 25)
- IV. Especies que prefieren hábitat perturbados.** Especies que son más abundantes en los sitios degradados. 16 especies, como: *Calocitta formosa* e *Icterus gularis*. (Gráfico 26)
- V. Especies especialistas de hábitat perturbados.** Especies que no se encontraron en las parcelas de bosque, pero si son abundantes en las parcelas de cafetal. 8 especies, como: *Brotogeris jugularis* y *Dives dives*. (Gráfico 27)

Gráfico 23. Abundancia de 2 especies de aves especialistas de bosque según valores del Índice.

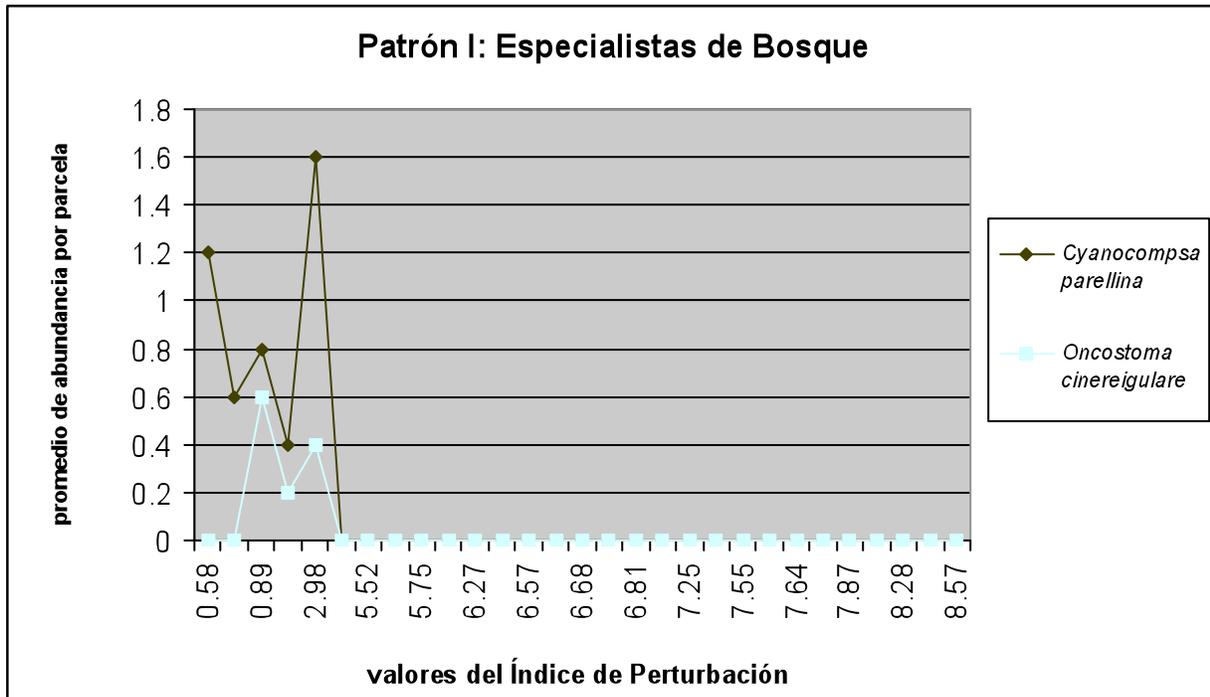


Gráfico 24. Abundancia de 14 especies de aves sensibles a la perturbación del hábitat, según valores del Índice de Perturbación.

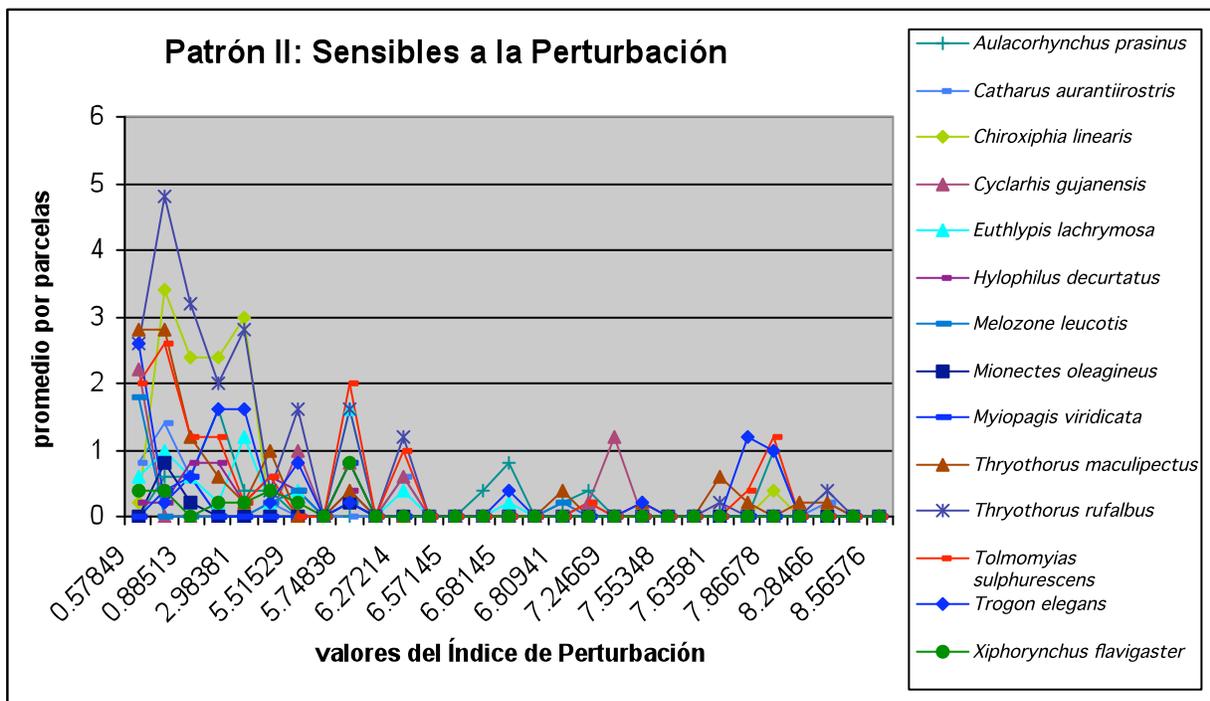


Gráfico 25. Abundancia de 26 especies de aves No sensibles a la perturbación del hábitat, según valores del Índice de Perturbación.

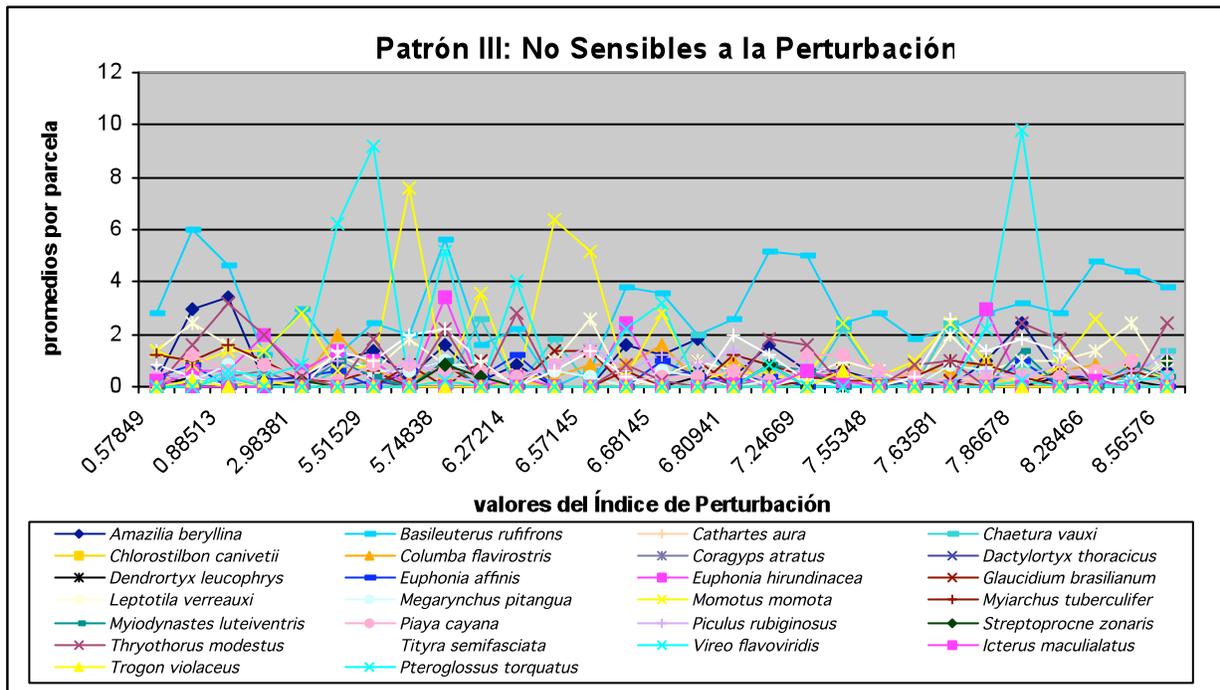


Gráfico 26. Abundancia de 16 especies de aves que prefieren hábitat perturbados, según valores del Índice de Perturbación.

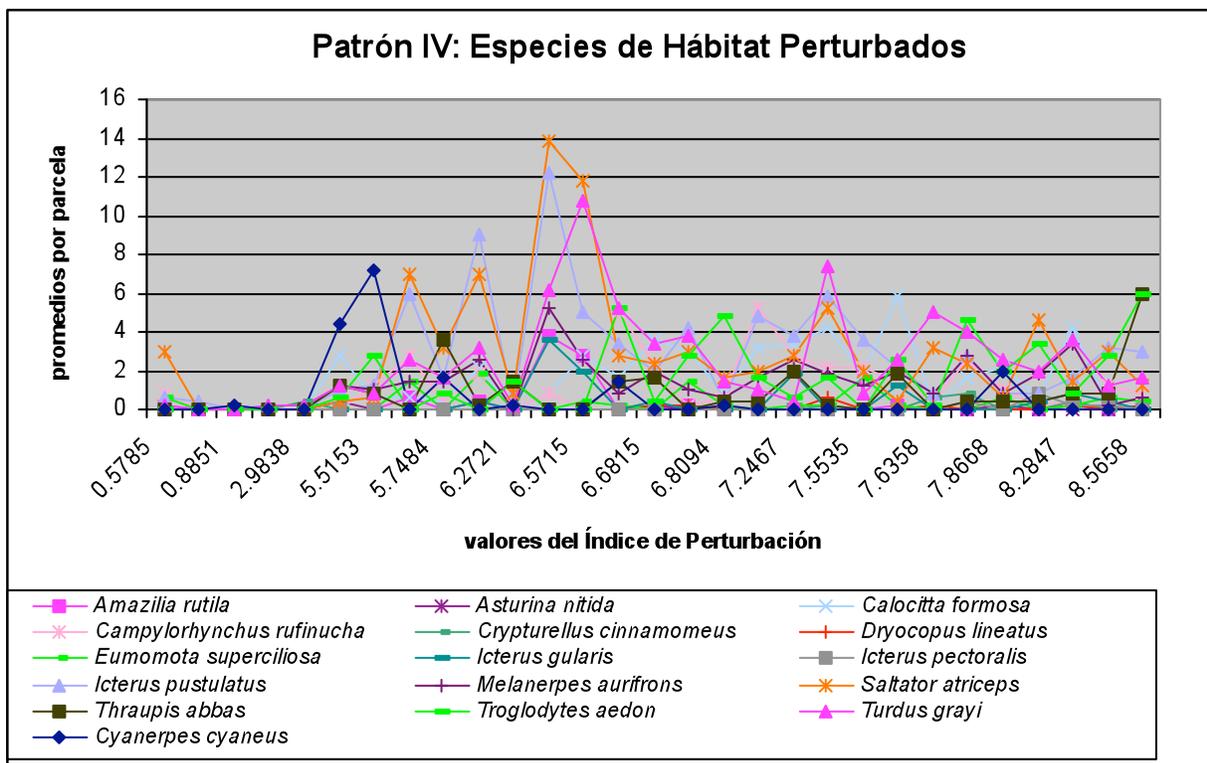
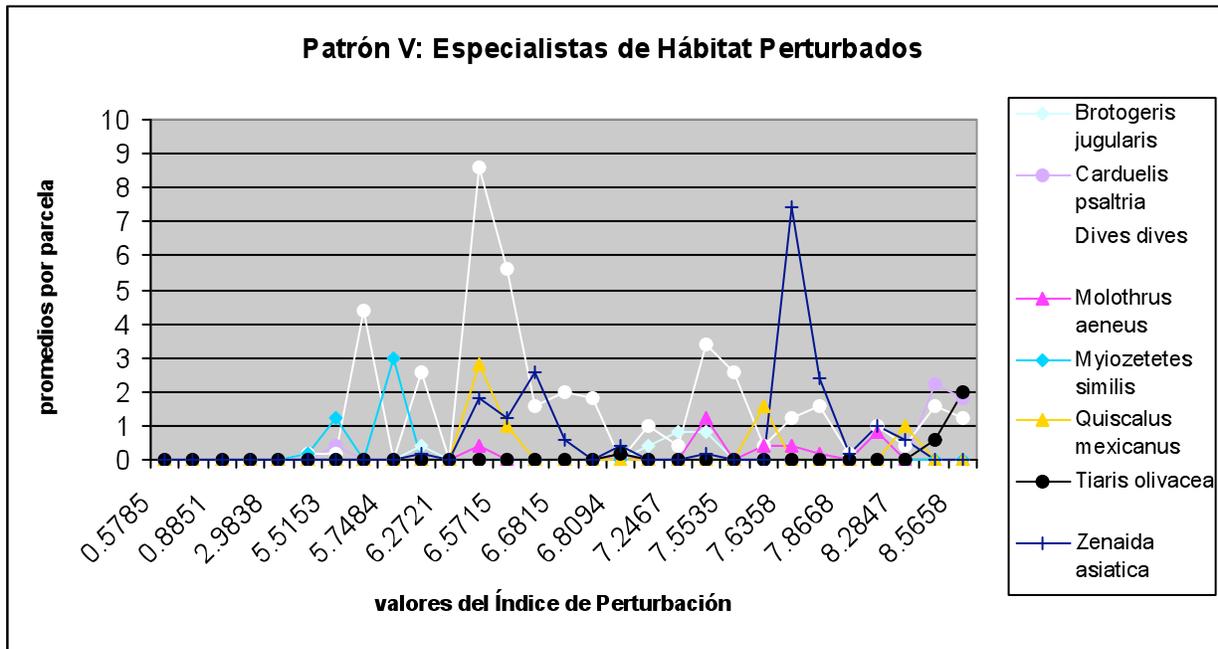


Gráfico 27. Abundancia de 8 especies de aves especialistas de hábitat perturbados, según valores del Índice de Perturbación.



VII.2.d. Mamíferos.-

Durante la conducción del estudio se reportó en total la presencia de 23 especies de mamíferos, de acuerdo a las entrevistas con los colonos y algunos hallazgos ocasionales de evidencias físicas e incluso avistamientos. Las especies detectadas se agrupan dentro de 13 familias, 8 especies se consideran en peligro (34.8 %) y 11 amenazadas (47.8 %), por el Servicio de Parques Nacionales y Vida Silvestre (MAG 1998). Ninguna de las especies parece ser especialista de hábitat natural, con la posible excepción del Coyote que se reportó de una sola finca, pudiendo tratarse de un individuo vagabundo. El anexo 54 contiene la lista taxonómica de especies y sus estatus, y el anexo 55 la información de especies registradas para cada finca y bosque.

VII.3. Índices.-

VII.4.b. Índice de Importancia para Conservación de Biodiversidad.-

Cinco posibles índices de importancia para conservación de biodiversidad fueron considerados. Dos utilizando sistemas de puntajes basados en el número de especies presentes en cada sitio, y en los cuales las especies amenazadas o endémicas recibían más altos puntajes que aquellas no amenazadas o ampliamente distribuidas; ambos índices fueron abandonados, por basarse en sistemas

subjetivos de puntuación. Tres índices adicionales fueron calculados utilizando la riqueza o abundancia de especies indicadoras (sensibles a la perturbación) presentes en las parcelas del estudio. Ya que estas especies indicadoras fueron identificadas comparando los datos obtenidos sobre sus poblaciones con el valor matemático resultante del análisis de componentes principales (ver metodología), los índices así calculados son objetivos, no subjetivos. Los índices considerados fueron: (i) riqueza de especies indicadoras, (ii) abundancia combinada de especies indicadoras, y (iii) abundancia combinada y estandarizada de especies indicadoras. La tercera de estas opciones se calculó dividiendo la abundancia promedio de cada especie, entre su desviación estándar y sumando los resultados, a manera de obtener un valor de abundancia combinado, en el cual todas las especies se sitúan en la misma escala; evitando así que una especie que normalmente ocurre en altas densidades (por ejemplo, el trogloditido *Thryothorus rufalbus*) tenga mayor influencia que una especie que naturalmente ocurre en bajas densidades (por ejemplo, el gavilán *Buteo jamaicensis*).

Finalmente elegimos la riqueza de especies indicadoras presentes en cada parcela, como el mejor Índice de Importancia para Conservación de la Biodiversidad, ya que sus regresiones mostraron valores de correlación iguales o mayores a los registrados por los otros dos índices (basados en abundancias), además de resultar más sencillo su uso.

VII.5. Criterios de Certificación

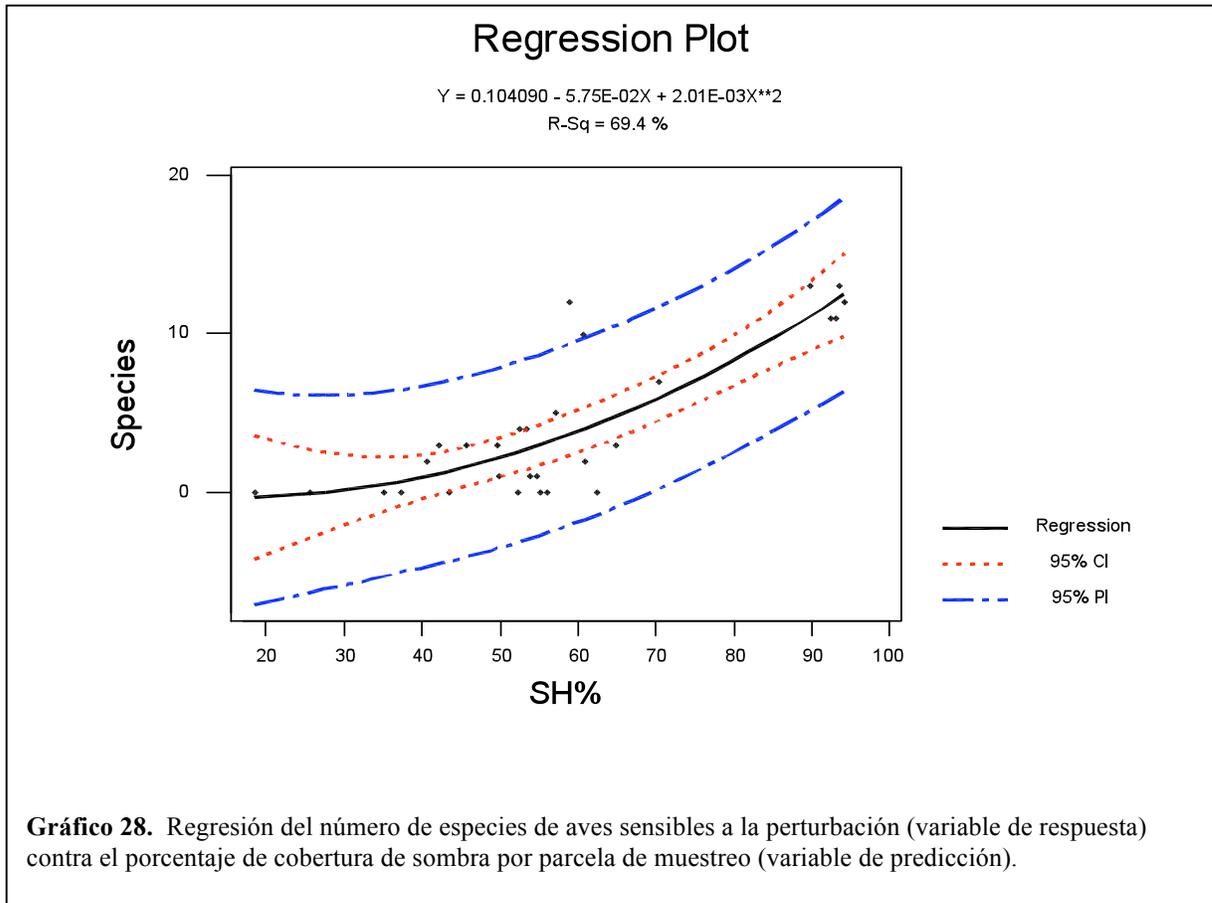
Se determinaron modelos de predicción, basados en análisis de regresión, para evaluar los efectos que los cambios registrados en los parámetros del hábitat de las parcelas, tienen sobre el Índice de Importancia para la Conservación de la Biodiversidad (riqueza de aves indicadoras). Específicamente, estos modelos evalúan aquellos parámetros actualmente utilizados como Criterios de Certificación de cafetales amigables con la biodiversidad.

Resulta evidente que los valores preliminares adoptados para estos criterios, especialmente el porcentaje de cobertura y la diversidad de árboles de sombra, se encuentran muy cercanos al límite inferior de lo que podría considerarse una plantación que alberga especies importantes para la conservación de la biodiversidad local.

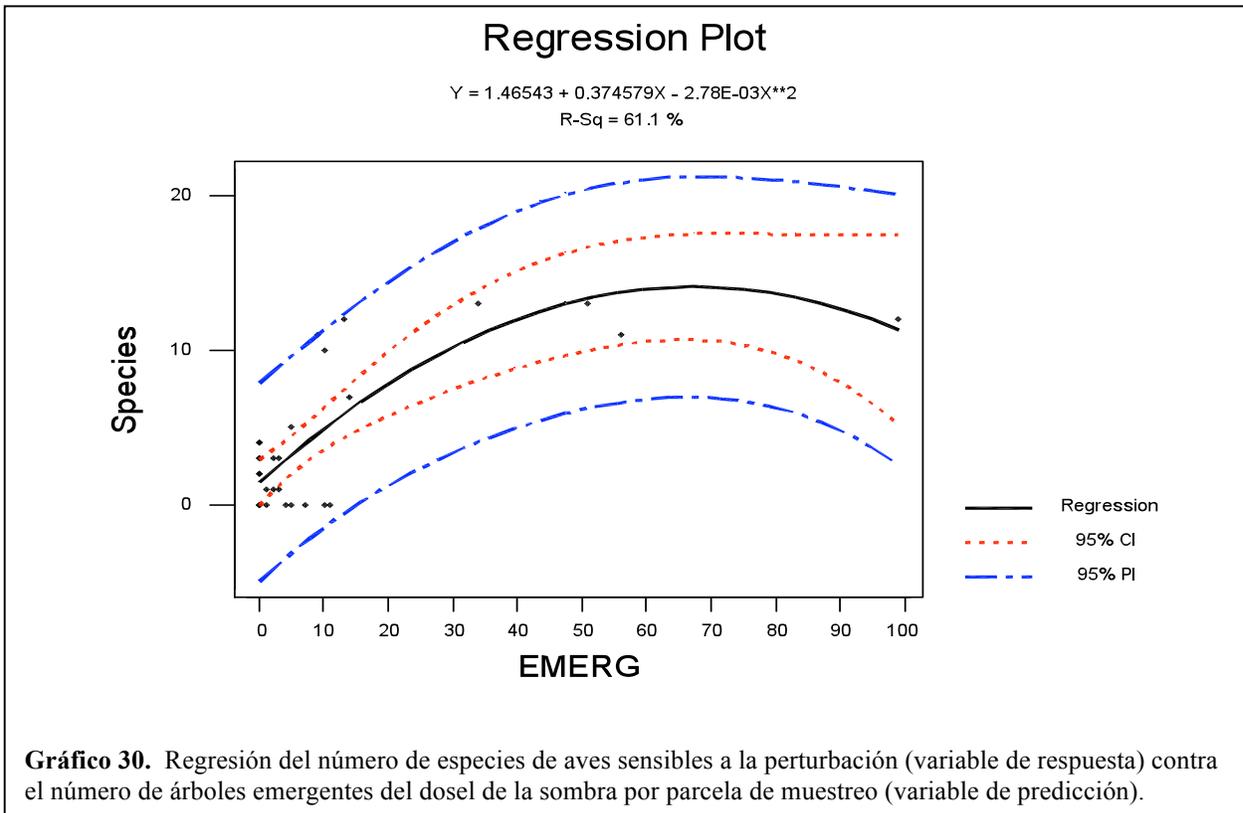
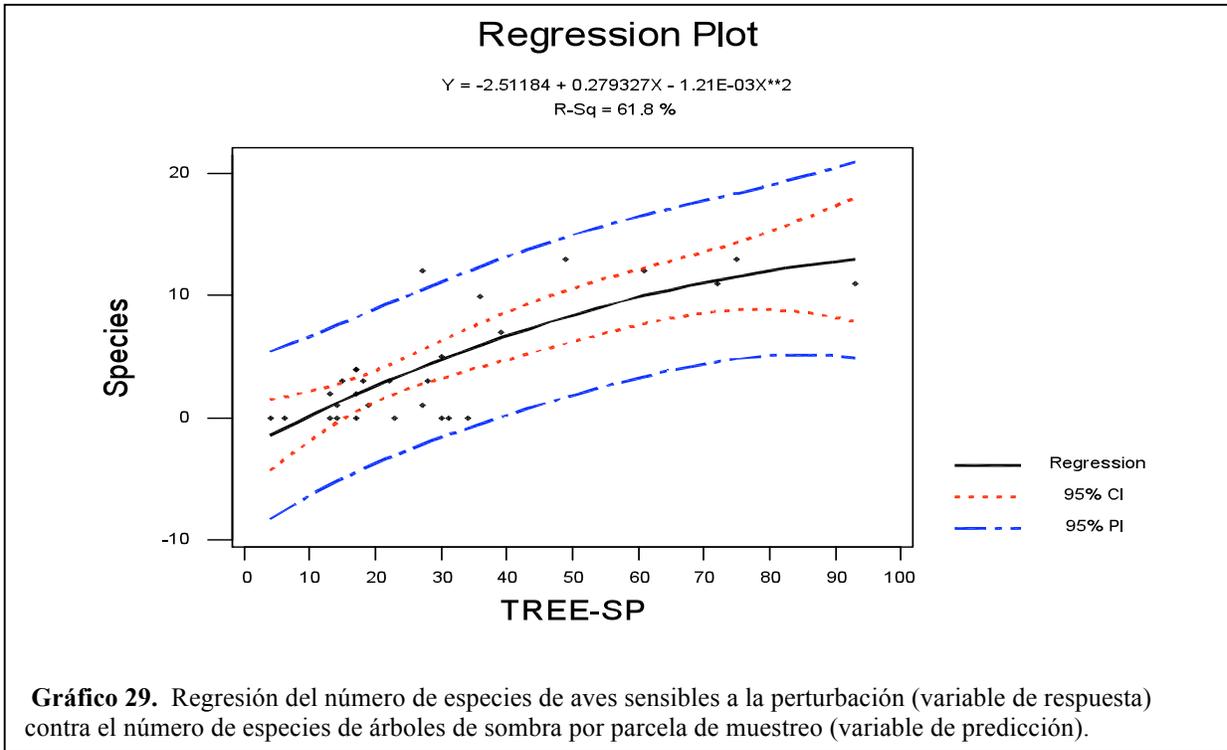
El modelo polinomial para el criterio de cobertura de sombra, con un coeficiente de correlación ajustado (R^2) de 0.694, indica que se requiere un 41 % de sombra para esperar encontrar a una de las 16 especies consideradas indicadoras en un cafetal, mientras que el criterio vigente tan sólo exige un 40 %. Por otra parte, aún en sitios con 100 % de cobertura de sombra sólo se esperaría encontrar un promedio de 12.3 de las 16 especies (gráfico 28).

Por otra parte, en el presente caso un modelo lineal ($Y = -6.77391 + 0.190777X$) se correlaciona muy bien con los datos observados ($R^2 = 0.65$), y dado que este modelo cuenta con un mínimo de predictores (por ende de fuentes de error), es preferible su uso.

Para el modelo de la diversidad de árboles que componen el estrato de sombra, la regresión posee coeficiente de correlación ajustado (R^2) de 0.618, e indica que se requieren al menos 11 diferentes especies de árboles en una parcela (0.5 ha) para esperar encontrar a una de las 16 especies de aves consideradas indicadoras, mientras que el criterio vigente tan sólo exige 10 especies / hectárea (pudiendo haber aún menos de 10 especies en 0.5 ha) (gráfico 29). Este criterio de un mínimo de 10 especies por hectárea, fácilmente podría incrementarse a 20 o más, ya que la mediana registrada para las 24 parcelas de este estudio es de 19 especies de árboles en 0.5 hectáreas (anexo 15).



El número de árboles emergentes del dosel de la sombra parece ser menos determinante para la ocurrencia de especies sensibles, puesto que aún con cero árboles emergentes por parcela (0.5 ha.), se predicen 2.4 especies de aves indicadoras; mientras que el criterio actual exige que un 20 % de la sombra provenga de árboles emergentes. (Gráfico 30). Dada la dificultad práctica de determinar la proporción de sombra aportada por árboles emergentes, nuestro modelo utilizó la densidad de árboles emergentes, como una aproximación de dicha medida.



VIII. CONCLUSIONES

- El Índice de Perturbación, construido a través del método de componentes principales, resulta ser una efectiva herramienta en el proceso de diferenciación entre bosques naturales, plantaciones de café y las diferentes estructuras que éstas últimas exhiben.
- De los diferentes parámetros de la estructura arbórea estudiados, resulta ser el porcentaje de cobertura de sombra el que mejor explica, de manera individual, las variaciones registradas en los sitios estudiados (con un coeficiente de correlación de 0.380, con respecto al Índice de Perturbación); seguido por el número de especies de árboles (coeficiente de correlación de 0.368), el número de árboles emergentes (0.362) y el área basal total (0.338). Coincidiendo los tres mejor correlacionados con los tres criterios ecológicos de certificación propuestos.
- Los análisis de regresión que relacionan a los tres principales componentes de la estructura del hábitat en las plantaciones (sombra, diversidad y variación de altura de los árboles) con las poblaciones de aves identificadas como sensibles a la perturbación, señalan que los valores preliminarmente adoptados para los criterios se sitúan ligeramente por debajo o muy cercanos al límite inferior necesario para permitir la ocurrencia de dichas especies, por lo que debe considerarse el aumentarlos.
- La complejidad estructural observada en bosques naturales es significativamente mayor, aún a la de las mejor estructuradas plantaciones de café, existiendo en éstos mayor número de especies e individuos de “interés” para la conservación, por lo que los cafetales no deben ser vistos como posibles sustitutos de los ecosistemas naturales.
- A pesar de invertir considerable esfuerzo (1,170 horas) en la búsqueda de anfibios y reptiles en los sitios del estudio, relativamente pocas especies e individuos fueron encontrados, lo cual limita las posibilidades de análisis estadísticos y por ende la extracción de conclusiones para estos grupos.
- El presente estudio se enfocó en obtener la información necesaria para analizar el desempeño de los criterios de certificación adoptados por el Proyecto Café y Biodiversidad, y sobre los grupos de la biodiversidad que pudieran aportar dicha información. Por lo que se requiere de estudios adicionales, que ayuden a comprender muchos otros aspectos que aún se desconocen sobre el papel ecológico de los agro-ecosistemas de café, así como de la variedad de grupos de organismos que los habitan.
- Los datos presentados en este estudio son aplicables a las plantaciones de café, bosques naturales y especies que ocurren en la zona geográfica de la Cordillera Apaneca-Volcán de Santa Ana, en el centro occidente de El Salvador, en el rango altitudinal de 900 a 1300 msnm. Aunque éstos pueden

servir como base para comprender el papel ecológico de cafetales en otras zonas, debe procederse con extrema cautela en cualquier extrapolación de conclusiones, puesto que las especies sensibles que ocurren en hábitat con condiciones diferentes, como por ejemplo en los pinares de la Cordillera Norte, pueden tener requerimientos diferentes a los aquí señalados.

- El modelo que mejor se aplica a una discusión sobre los criterios de certificación de cafetales amigables con la biodiversidad, se basa en la predicción de especies de aves indicadoras (sensibles a la perturbación) que se relacionan con el porcentaje de cobertura de sombra existentes en las plantaciones. La correlación entre ambos parámetros resulta ser la más sólida y el modelo de regresión que los relaciona el más sencillo (linear).

IX. RECOMENDACIONES

- Tomando como base la información científica que el presente estudio aporta, sobre el desempeño de los criterios ecológicos de certificación, se recomienda desarrollar un taller de revisión y validación de los valores preliminarmente adoptados, con la participación de los responsables de la ejecución de los restantes ocho Componentes del Proyecto, quienes poseen datos indispensables sobre los aspectos agronómicos, sociales, financieros y mercadológicos relacionados al cultivo, con el fin de definir nuevos valores para los criterios ecológicos, que respondan de mejor manera a las necesidades de las poblaciones de especies más sensibles de la biodiversidad.
- Se recomienda fortalecer los mecanismos de seguridad que garanticen que el programa de Café Amigable con la Biodiversidad no incentive la transformación de hábitat natural en cafetales.
- Es recomendable profundizar el presente estudio, en la misma zona y sobre los mismos grupos, con el fin de volver más precisos los resultados obtenidos.
- Por otra parte, se debe replicar el presente estudio en diferentes zonas geográficas y rangos altitudinales, con el fin de comprender el comportamiento de diferentes comunidades que habitan el agro-ecosistema cafetalero.
- Deben promoverse estudios complementarios en los cafetales, que enfoquen aspectos como la dinámica de alimentación, el flujo de poblaciones, la utilidad reproductiva, etc., así como sobre otros grupos de la biodiversidad: insectos, arácnidos, hongos, etc., que ayuden a comprender la intrincada red de interrelaciones que se suscita en estos agro-ecosistemas.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Bailey, N. T. J. 1995. *Statistical methods in biology*. Third edition. Cambridge University Press. Great Britain.
- Berendsohn, W. G. 1989. Listado de la Flora Salvadorensis: Pteridophyta. *Cuscatlania* I(1). Jardín Botánico La Laguna. El Salvador.
- Berendsohn, W. G. 1989. Listado de la Flora Salvadorensis: Dicotyledonae: Leguminosae. *Cuscatlania* I(2). Jardín Botánico La Laguna. El Salvador.
- Berendsohn, W. G. 1989. Listado de la Flora Salvadorensis: Dicotyledonae: Labiatae, Acanthaceae, Martyniaceae, Bignoniaceae, Pedaliaceae, Gesneriaceae, Compositae. *Cuscatlania* I(3). Jardín Botánico La Laguna. El Salvador.
- Berendsohn, W. G. 1989. Listado de la Flora Salvadorensis: Dicotyledonae: Lecythidaceae, Melastomataceae, Rhizophoraceae. *Cuscatlania* I(4). Jardín Botánico La Laguna. El Salvador.
- Berendsohn, W. G. 1991. Listado de la Flora Salvadorensis: Monocotiledoneae: Iridaceae, Commelinaceae, Gramineae, Cyperaceae. *Cuscatlania* I(6). Jardín Botánico La Laguna. El Salvador.
- Berendsohn, W. G. 1989. Listado de la Flora Salvadorensis: Dicotiledoneae: Moraceae, Urticaceae, Proteaceae, Olacaceae, Opiliaceae, Loranthaceae, Balanophoraceae, Polygonaceae. *Cuscatlania* I(7). Jardín Botánico La Laguna. El Salvador.
- Berendsohn, W. G. 1991. Listado de la Flora Salvadorensis: Monocotiledoneae: Alismataceae, Arecaceae, Cannaceae, Haemodoraceae, Hypoxidaceae, Lemnaceae, Limnocharitaceae, Pontederiaceae, Potamogetonaceae, Smilacaceae. *Cuscatlania* I(8). Jardín Botánico La Laguna. El Salvador.
- Berendsohn, W. G. 1991. Listado de la Flora Salvadorensis: Monocotiledoneae 3: Agavaceae, Allicaceae, Alocaceae, Alstroemeriacae, Anthericaceae, Asparagaceae, Bromeliaceae, Colchicaceae, Convallariaceae, Cyclanthaceae, Dioscoreaceae, Dracaenaceae, Heliconiaceae, Hemerocallidaceae, Hydrocharitaceae, Juncaceae, Liliaceae, Melanthiaceae. *Cuscatlania* I(9). Jardín Botánico La Laguna. El Salvador.
- Calvo, L. & J. Blake. 1998. Bird diversity and abundance on two different shade coffee plantations in Guatemala. *Bird Conservation International* 8:297-308.
- Diesch, T. V. 2000. Assessing the Conservation Value of Shade-Grown Coffee: a Biological Perspective using Neotropical Birds. *Endangered Species UPDATE*, Vol. 17, No. 6. pp. 122-124.
- Gobbi, J. A. 2000. Is biodiversity-friendly coffee financially viable? An analysis of five different coffee production systems in western El Salvador. *Ecological Economics* 33: 267-281.
- Greenberg, R.; P. Bichier ; A. Cruz Angon & Robert Reitsma. 1997. Bird Populations in Shade and Sun Coffee Plantations in Central Guatemala. *Conservation Biology*, Vol. 11, Issue 2. pp. 448-459.
- Greenberg, R.; P. Bichier & J. Sterling. 1997. Bird Populations in Rustic and Planted Shade Coffee Plantations, Eastern Chiapas, Mexico. *BIOTROPICA* 29(4): 501-514.
- Jimenez Avila, E. & A. Gómez Pompa, eds. 1980. *Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB), Xalapa, Veracruz, México.
- Jonson, M. D. 2000. Effects of Shade-Tree Species and Crop Structure on the Winter Arthropod and Bird Communities in a Jamaican Shade Coffee Plantation. *BIOTROPICA* 32(1): 133-145.
- Komar, O. 1998. Avian diversity in El Salvador. *Wilson Bulletin* 110: 511-533.
- Komar, O. & J. P. Domínguez. 1999. Índice de importancia de conservación de la biodiversidad. EN: Memorias del III Congreso y IV Asamblea General de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación. Mesoamericana, Vol. 4, No. 3: 101. Guatemala
- Komar, O. & J. P. Domínguez. 2001. *Lista de Aves de El Salvador*. Fundación Ecológica de El Salvador – SlavaNATURA, Shell de El Salvador. San Salvador, El Salvador

- MAG. 1998. Listado Oficial de las Especies de Fauna Vertebrada Amenazada y en Peligro de Extinción en El Salvador. Actualización del publicado en Diario Oficial Tomo 323, #96, 1994. Servicio de Parques Nacionales y Vida Silvestre.
- Messer, K. D.; M. J. Kotchen & M. R. Moore. 2000. Can Shade-Grown Coffee Help Conserve Tropical Biodiversity ? A Market Perspective. *Endangered Species UPDATE*, Vol. 17, No. 6. pp 125-131.
- Moguel, P. & V. M. Toledo. 1999. Biodiversity Conservation in Traditional Coffee Systems of México. *Conservation Biology* Vol. 13, No. 1. pp 11-21.
- Paoletti, M. G., D. Pimental, B. R. Stinner, & D. Stinner. 1992. Agroecosystem biodiversity: matching production and conservation biology. *Agric. Ecosyst. Environ.* 40:3-24.
- Perfecto, I. & R. Snelling. 1995. Biodiversity and the Transformation of a Tropical Agroecosystem : Ants in Coffee Plantations. *Ecological Applications*, Vol. 5, Issue 4. pp. 1084-1097.
- Perfecto, I., R. A. Rice, R. Greenberg & M. E. Van der Voort. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity: shade coffee can contain as much biodiversity as forest habitats. *Bioscience* 46:598-608.
- Pimental, D., U. Stachow, D. A. Takacs, H. W. Brubaker, A. R. Dumas, J. J. Meaney, J. A. S. O'Neil, D. E. Onski, & D. B. Corzilius. 1992. Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems. *BioScience* 42: 354-362.
- Reyna de Aguilar, M. L., A. Sermeño Martínez, R. Guillén Morales, C. Funes Abrego, N. Herrera, M. Vásquez & N. Arriaza. 1996. Plan del sistema de áreas protegidas, zonas de amortiguamiento y corredores biológicos: El Salvador informe de país. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, Secretaría Ejecutiva del Medio Ambiente, Proyecto Corredor Biológico Mesoamericano PNUD/GEF, San Salvador, El Salvador.
- Sherry, T. W. 2000. Shade Coffee: a Good Brew even in small Doses. *The Auk*: Vo. 117, No. 3. pp. 563-568.
- Soberón, J.; P. Rodríguez & E. Vásquez-Domínguez. 2001. Implications of the Hierarchical Structure of Biodiversity for the Development of Ecological Indicators of Sustainable Use. *AMBIO: A Journal of the Humana Environment*: Vol. 29, No. 3. pp. 136-142.
- Sokal, R. R. & F. J. Rohlf. 1997. *Biometry*. Third edition. Printed by W. H. Freeman and Company. State University of New York at Stony Brook. USA.
- Strong, A. M. 2000. Divergent Foraging Strategies of Two Neotropical Migrant Warblers: Implications for Winter Habitat Use. *The Auk*: Vol. 117, No. 2. pp. 381-392.
- Thiollay, J. M. 1995. The role of traditional agroforests in the conservation of rain forest bird diversity in Sumatra. *Conservation Biology* 9:335-353.
- Toledo, V. & P. Moguel. 1996. Searching for sustainable coffee in Mexico: the importance of biological and cultural diversity. Pages 163-173 in R. A. Rice, A. M. Harris & J. McLean, eds. *Proceedings of the First Sustainable Coffee Congress*. Smithsonian Migratory Bird Center, Washington, DC.
- Williams Linera, G., V. Sosa & T. Platas. 1995. The fate of epiphytic orchids after fragmentation of a Mexican cloud forest. *Selbyana* 16:36-40.
- Wunderle, J. & S. C. Latta. 1996. Avian abundance in sun and shade coffee plantations and remnant pine forest in the Cordillera Central, Dominican Republic. *Ornitología Neotropical* 17:19-34.
- Wunderle, J. & S. C. Latta. 2000. Winter Site Fidelity of Nearctic Migrants in Shade Coffee Plantations of Different Sizes in the Dominican Republic. *The Auk*: Vol. 117, No. 3. pp. 596-614.

A N E X O S