

AGROECOSISTEMAS CAFETALEROS DE VERACRUZ

BIODIVERSIDAD, MANEJO Y CONSERVACIÓN



**Robert H. Manson
Vicente Hernández-Ortiz
Sonia Gallina
Klaus Mehlreter
EDITORES**



**AGROECOSISTEMAS CAFETALEROS DE VERACRUZ
BIODIVERSIDAD, MANEJO Y CONSERVACIÓN**

AGROECOSISTEMAS CAFETALEROS DE VERACRUZ BIODIVERSIDAD, MANEJO Y CONSERVACIÓN

EDITORES

**Robert H. Manson, Vicente Hernández-Ortiz,
Sonia Gallina y Klaus Mehlreter**

**Instituto de Ecología A.C.
INECOL**

**Instituto Nacional de Ecología
INE-SEMARNAT**

México, 2008

Manson R.H., Hernández-Ortiz V., Gallina S. y Mehlreter K. (editores). 2008. *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación*. Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México, 348 p.

Portada: Paisaje en el interior del bosque mesófilo de montaña en el centro de Veracruz (R. Manson). Rana. *Charadachyla taeniopus* (“calates jarocho” o “rana arborícola pinta”), habita en los árboles y depende de agua libre para reproducirse. (A. González-Romero). Mamífero. *Tamandua mexicana* “Oso hormiguero”, “brazo fuerte” o “chupa miel”. Mamífero inofensivo que se alimenta de hormigas y termitas, especie en peligro de extinción por la destrucción de su hábitat, aún se le encuentra en algunos cafetales de manejo tradicional (A. González-Romero). Murciélago. *Artibeus jamaicensis* “Murciélago frutero de Jamaica”. El murciélago frugívoro más común de las fincas cafetaleras; es un importante dispersor de semillas que favorecen la regeneración natural del bosque (D. Hernández Conrique). Helecho. *Alsophila firma*. Helecho arborescente en el bosque de niebla de la región de Huatusco (V. Hernández-Ortiz). Mosca. *Sarcophagidae* “Mosca necrófaga”. Familia de moscas con gran cantidad de especies, sus larvas son importantes degradadores de materia orgánica animal, entre los que se encuentran cadáveres de vertebrados (V. Hernández-Ortiz). Ave. *Trogon collaris* “trogón collarejo”. Especie característica de bosque y cafetales de sombra diversificada (J. Montejo Díaz).

Revisión de estilo: Arturo Sánchez y Gándara

Diseño y formación: S y G editores

AGROECOSISTEMAS CAFETALEROS DE VERACRUZ BIODIVERSIDAD, MANEJO Y CONSERVACIÓN

D.R. © 2008, Instituto de Ecología A.C. (INECOL)
Km. 2.5 antigua carretera a Coatepec No. 351
Congregación El Haya, C.P. 91070 Xalapa, Ver.

D.R. © 2008, Instituto Nacional de Ecología
(INE-SEMARNAT). Periférico Sur 5000
Col. Insurgentes Sur-Cuicuilco
04530 México D.F.

ISBN 970-709-112-6

Se prohíbe la reproducción total o parcial
sin autorización por escrito del titular
de los derechos.

Impreso y hecho en México / Printed and made in Mexico

Contenido

Presentación	vii
Prólogo	ix
Agradecimientos	xi
Directorio de autores	xiii
SECCIÓN I. INTRODUCCIÓN	
Capítulo 1.	1
Estudios de la biodiversidad en cafetales <i>Robert H. Manson, Armando Contreras Hernández y Fabiola López-Barrera</i>	
Capítulo 2.	15
Clasificación agroecológica <i>Gerardo Hernández-Martínez</i>	
Capítulo 3.	35
Retos en la organización de un proyecto de investigación-acción <i>Armando Contreras Hernández</i>	
SECCIÓN II. BIODIVERSIDAD	
Capítulo 4.	55
Estructura y diversidad de la vegetación leñosa <i>Guadalupe Williams-Linera y Ana López-Gómez</i>	
Capítulo 5.	69
Epífitas vasculares: bromelias y orquídeas <i>José G. García Franco y Tarín Toledo Aceves</i>	
Capítulo 6.	83
Helechos <i>Klaus Mehltreter</i>	
Capítulo 7.	95
Moscas (Insecta: Diptera) <i>Vicente Hernández-Ortiz y José F. Dzul-Cauich</i>	
Capítulo 8.	107
Hormigas (Insecta: Hymenoptera: Formicidae) <i>Jorge Valenzuela-González, Luis Quiroz-Robledo y Dora L. Martínez-Tlapa</i>	

Capítulo 9.	123
Escarabajos (Insecta: Coleoptera) <i>Cuauhtémoc Deloya y María M. Ordoñez-Resendiz</i>	
Capítulo 10.	135
Anfibios y reptiles <i>Alberto González-Romero y René Murrieta-Galindo</i>	
Capítulo 11.	149
Aves <i>César Tejeda-Cruz y Caleb E. Gordon</i>	
Capítulo 12.	161
Mamíferos pequeños y medianos <i>Sonia Gallina, Alberto González-Romero y Robert H. Manson</i>	
Capítulo 13.	181
Murciélagos <i>Vinicio J. Sosa, Eloísa Hernández-Salazar, David Hernández-Conrique y Alejandro A. Castro-Luna</i>	
Capítulo 14.	193
Hongos saprobios y endomicorrizógenos en suelos <i>Gabriela Heredia Abarca y Rosa M. Arias Mota</i>	
SECCIÓN III. SERVICIOS AMBIENTALES	
Capítulo 15.	213
Calidad y ambiente físico-químico de los suelos <i>Daniel Geissert y Alejandra Ibáñez</i>	
Capítulo 16.	223
Almacenamiento de carbono <i>Raymundo Dávalos Sotelo, María I. Morato y Enrique Martínez Pinillos-Cueto</i>	
Capítulo 17.	235
Calidad de la madera de los árboles de sombra <i>Guadalupe M. Bárcenas Pazos y Víctor R. Ordóñez Candelaria</i>	
Capítulo 18.	247
Polinización entomófila <i>Carlos Vergara, Jessica Contreras, Renata Ferrari y Jovita Paredes</i>	
SECCIÓN IV. SÍNTESIS	
Capítulo 19.	259
Variación de la biodiversidad a nivel paisaje <i>Fabiola López-Barrera y Rosario Landgrave</i>	
Capítulo 20.	271
Indicadores ecológicos multi-taxonómicos <i>César Tejeda-Cruz, Klaus Mehlreter y Vinicio J. Sosa</i>	
Capítulo 21.	279
Efectos del manejo sobre la biodiversidad: síntesis y conclusiones <i>Robert H. Manson, Vinicio J. Sosa y Armando Contreras Hernández</i>	
Índice analítico	303
Galería fotográfica de los cafetales de Veracruz	315

Presentación

México está experimentando un rápido crecimiento humano, degradación ecológica y pérdida de sistemas tradicionales de producción; aproximadamente el 66% de la vegetación del país se ha convertido en agricultura o está siendo perturbada por actividades humanas, con una tasa de deforestación de entre 0.4 y 1.2%, lo que impacta gravemente la biodiversidad. No obstante, los considerables esfuerzos para proteger la biodiversidad en reservas, parques y refugios de vida silvestre, muchas de estas pequeñas áreas están fragmentadas, aisladas y pobremente protegidas. Gran parte de estas áreas, además de sus inadecuadas dimensiones, están inmersas dentro de una matriz de paisaje agrícola, y las zonas de amortiguamiento son insuficientes para aliviar los efectos de la fragmentación, contaminación por agroquímicos, caza y tala ilegal.

Los científicos y agentes del desarrollo interesados en la biodiversidad han puesto los ojos en el paisaje agrícola, y en particular en ciertos sistemas agroforestales, que por su estructura arbórea se asemejan a los bosques y selvas, como el cultivo del café. El café, principal producto agrícola de exportación de México, ocupa alrededor de 800 mil hectáreas, distribuidas a lo largo de sus dos grandes cadenas montañosas. Los cafetales comparten la geografía con ecosistemas amenazados como las selvas tropicales y bosques mesófilos de montaña, los cuales se reducen día con día dando paso a potreros, monocultivos y áreas urbanas. Aunque el bosque mesófilo de montaña ocupa sólo el 1% del territorio nacional, contiene más del 10% de todas las especies de plantas y animales conocidas para México.

El presente libro es un esfuerzo colectivo, que reúne el trabajo de especialistas y estudiantes, presenta la diversidad de 13 grupos de plantas y animales, así como

varios estudios que demuestran el potencial de los cafetales para la conservación de los recursos naturales y la oferta de servicios ambientales. Los diferentes estudios presentados en 21 capítulos comparan la diversidad de los grupos taxonómicos en distintos tipos de cafetales y fragmentos de bosque en Veracruz, acompañado de secciones que abordan aspectos socioeconómicos. Veracruz es uno de los principales estados productores de café, con gran tradición y organización, lo que le ha favorecido para lograr en 2005 la denominación de origen. Producido en las laderas de la Sierra Madre Oriental, entre 600 y 1400 m de altitud, el café conforma sitios arbolados con gran parecido a las selvas y bosques tropicales; espacios con distintas condiciones de luz, humedad y temperatura que propician el albergue de una importante biodiversidad.

En México la diversidad se mantiene por una combinación de múltiples usos del suelo, sociedades rurales tradicionales, cuyo trabajo está basado en conocimiento tradicional y Veracruz no es la excepción. A lo largo del libro, los autores nos muestran que, en general, la reducción en cobertura vegetal, y la simplificación de la estructura comprimen la diversidad de organismos, en donde los cafetales son una pieza importante en el contexto de la matriz agrícola para la conservación. Los cafetales albergan una riqueza importante de insectos, anfibios, reptiles, aves, mamíferos pequeños, murciélagos, hongos, helechos, epífitas vasculares y árboles, y esta diversidad es determinada en buena medida por la estructura y riqueza de los cafetales. Los autores también nos muestran que los agroecosistemas arbolados tienen un alto potencial para ofrecer servicios ambientales importantes como la polinización, el mantenimiento de la fertilidad de los suelos y el almacenamiento de carbono.

Las áreas agrícolas adquieren cada vez mayor importancia en la conservación, función antes proscrita a las reservas biológicas. No obstante, los recientes avances en el entendimiento de la ecología, la evolución, los servicios ambientales de los ecosistemas, la vulnerabilidad de los bosques tropicales, los esfuerzos por conservar y manejar la biodiversidad dentro de regiones tropicales permanecen seriamente obstaculizados por la carencia de información. Este libro es un buen comienzo para contribuir en el conocimiento de la matriz agrícola y su función en la conservación. Los resultados muestran la necesidad urgente de la visión de paisaje, el enfoque interdisciplinario y sugieren

otras tareas a mediano plazo como el abordaje de la diversidad cultural y su relación con la naturaleza, el enfoque de sistemas complejos y la necesidad de estudiar al cafetal inmerso en un paisaje de parches agrícolas y forestales, un paisaje rural, con gente que considere a la población no sólo como un agente causal de cambios en el ambiente.

Lorena Soto Pinto

Investigadora en sistemas silvícolas y agroforestales
El Colegio de la Frontera Sur
Chiapas, México

Prólogo

Al inicio del siglo XXI, la caficultura en México, y particularmente en Veracruz, está en plena crisis debido a que los productores de café en la entidad se encuentran desorganizados desde hace más de una década con la desaparición del INMECAFÉ. Esta instancia gubernamental dominó la producción del café a finales del siglo pasado, y dejó una herencia de “tecnificación” de las fincas cafetaleras que implican una inversión considerable en agroquímicos, así como una oferta decreciente de fuentes alternativas de ingreso y, en consecuencia, una mayor susceptibilidad a las crisis recurrentes de sobreproducción y bajos precios. Actualmente, existen mercados cada vez más globalizados controlados por unas pocas compañías transnacionales, en donde los cafecultores obtienen cada vez un menor precio por su cosecha. En México se ha observado también una reducción importante en el consumo doméstico del aromático, debido a la competencia con refrescos embotellados. Por eso, los productores de café de Veracruz están considerando una amplia gama de alternativas de manejo, que en casos extremos, incluyen hasta la reconversión de sus fincas a otros usos de suelo más intensificados (ejemplo: caña de azúcar o fraccionamientos) con ingresos más estables o mayores, pero solo en el corto plazo y sin medir las consecuencias de ese drástico cambio a mediano y largo plazos.

El resultado de estas nuevas alternativas de manejo será de vital importancia para las estrategias de conservación de los recursos naturales en las zonas montañosas del estado de Veracruz. Una tasa alta y constante de deforestación en estas zonas ha relegado el bosque natural a pequeños fragmentos, que alguna vez predominaban en la región. Por eso, el destino de las fincas de café que comprenden mucho

del paisaje alrededor de estos remanentes de bosque, afectará la extraordinaria diversidad biológica que aún conservan y los múltiples servicios ambientales que proporcionan.

La presente obra se enfoca principalmente a la descripción de los resultados científicos del proyecto “Biocafé”, los cuales involucran por primera vez, el estudio simultáneo de cambios en la diversidad biológica en 13 grupos taxonómicos distintos que habitan las fincas que caracterizan estas regiones, lo que permite hacer comparaciones entre ellos y evaluar el impacto de cambios en la intensificación del manejo sobre la conservación de la biodiversidad. Asimismo, se presentan los resultados del impacto de estos cambios de manejo sobre la capacidad de las fincas para proporcionar algunos servicios ambientales importantes.

El libro está formado por cuatro secciones: la primera comprende una introducción general que describe la problemática y antecedentes de la producción de café, la importancia de una clasificación agroecológica de las fincas, así como la integración del proyecto de investigación con los productores. La segunda involucra la biodiversidad encontrada en grupos tan diversos como la vegetación leñosa, epífitas vasculares, helechos, insectos (moscas, escarabajos y hormigas), anfibios y reptiles, aves, mamíferos pequeños y medianos, murciélagos y hongos del suelo. Aquí, los resultados se presentan en un mismo formato con el fin de facilitar comparaciones entre estos grupos. La tercera sección se refiere a los servicios ambientales como el mantenimiento de la fertilidad de los suelos, el almacenamiento de carbono, la producción de árboles maderables de sombra y la polinización entomófila. Finalmente, la cuarta sección presenta una síntesis que incluye un análisis de la variación a nivel de paisaje

y su papel en la conservación de la biodiversidad, la identificación de especies indicadoras sensibles a las perturbaciones antropogénicas y los efectos del manejo sobre la biodiversidad multitaxonómica estudiada.

Mientras que la problemática del café es muy compleja y requerirá información de muy diversas disciplinas para resolverse, esta obra está enfocada hacia el estudio ecológico de las fincas cafetaleras. Las consecuencias ambientales ligadas a la problemática del café en el estado de Veracruz convergen con las líneas de investigación del Instituto de Ecología, A.C. (INECOL), sede de algunos de los primeros estudios ecológicos de este cultivo en el mundo, y cuya misión es generar conocimiento científico relevante para la conservación del patrimonio natural y el desarrollo socioeconómico del país. Por ello, con el trabajo conjunto entre investigadores y productores de café en la

región hemos iniciado un estudio de largo plazo, cuyo propósito es generar información sobre la estructura (biodiversidad) y funcionamiento (servicios ambientales) de estos agroecosistemas, lo cual, aunado a contribuciones importantes de grupos de investigación en otras instituciones, aportarán elementos para la toma de decisiones ambientales y el desarrollo de estrategias de manejo sustentables. De tal suerte, consideramos que los resultados del esfuerzo interdisciplinario publicados en esta obra constituyen el primer paso en el cumplimiento de esta meta.

**Robert H. Manson,
Vicente Hernández-Ortiz,
Sonia Gallina y Klaus Mehlreter**
EDITORES

Agradecimientos

Esta obra se enriqueció enormemente gracias a los comentarios y sugerencias de la doctora Lorena Soto-Pinto y el doctor Steve Gliessman, ambos reconocidos internacionalmente como expertos en agroecosistemas cafetaleros. También reconocemos el apoyo de otros investigadores que fungieron como revisores de diferentes capítulos de este libro, incluyendo los doctores Consuelo Lorenzo Monterrubio, José Ernesto Sánchez Vázquez, María Luisa Martínez Vázquez, Octavio Rafael Rojas Soto, Javier Francisco Laborde Dovali, Helda Morales, Erin J. Estrada Lugo, Rémy Vandame, y David Álvarez Solís, así como los maestros en ciencias Laura Rubio Delgado, Gustavo Aguirre León y Arturo Hernández Huerta. Finalmente, queremos reconocer las aportaciones del físico Arturo Sánchez y Gándara y su equipo en S y G Editores, en todas las etapas editoriales del libro.

Expresamos nuestro sincero agradecimiento al Fondo Sectorial de Investigación Ambiental (SEMAR-NAT-CONACyT) por su generoso apoyo al proyecto intitulado “Biocafé: Un estudio interdisciplinario sobre la conservación de la biodiversidad y los servicios ambientales del bosque mesófilo de montaña en un gradiente de manejo del cultivo de café en el centro del estado de Veracruz” (C01-0194), el cual generó la mayor parte de la información presentada en este libro. De igual forma, agradecemos la importancia del apoyo financiero semilla otorgado por la ONG internacional “*Defenders of Wildlife*”, lo cual nos permitió generar datos preliminares para hacer la propuesta al fondo sectorial.

El apoyo brindado por el Instituto de Ecología, A.C. (INECOL) con su infraestructura fue particularmente importante para el desarrollo de este proyecto, y también reconocemos la participación de otras instituciones

como la Universidad de las Américas-Puebla y *Lake Forest College* (EUA). A los doctores Sergio Guevara Sada, Daniel Piñero Dalmau y Miguel Equihua Zamora, agradecemos su invaluable apoyo al proyecto durante sus estancias respectivas como Directores Generales del INECOL, así como a la licenciada Lourdes Chambon, Directora de Administración y a su equipo de trabajo, por las facilidades proporcionadas para el desarrollo de las investigaciones. Finalmente, agradecemos a Alberto Rísquez Valdepeña, Arturo Piña Martínez y Guadalupe López Alarcón su apoyo en las tareas de divulgación e intercambio de la información científica generada.

Un especial reconocimiento a los dueños y responsables administrativos de las fincas en donde se realizaron las investigaciones, y cuyos resultados aparecen en este libro, en particular por su apoyo, paciencia e interés: Ricardo Romero González (CAÑ); Fernando Cervantes Sánchez (MAS); Jorge, Eileen y Alan Müller (MIR); Francisco, Sergio y Ciro de la Vequia (VBM, VCS y VSE); Pablo Enrique Martínez Gama y Raúl Monge Villalobos (ORD); Alberto Barrenechea, Antonio Contreras y Joel Díaz Alarcón (ESM); Virginia Armand de Mateu y José López Álvarez (ARM); Martín Aluja Schuneman y Larissa Guillén Conde (ALU); Mario Hernández (PAM); Ricardo García Camacho y familia (ONZ); Aurelio Escobar Vidal (AUR); María del Refugio López Cruz (PAN); Mario, Félix y Sergio Morales (MOR); Feliciano Axol Reyes (AXO); Jorge Francisco Martínez Hachita y Julio Contreras Díaz (MAR y ZOP); Dionisio Pérez Jácome y Samuel Paredo Tapia (SOL).

De igual forma, agradecemos la participación de las organizaciones cafetaleras que enriquecieron nuestro entendimiento de la problemática del café:

Unión Regional de Pequeños Productores de Café, Agropecuaria Forestal y de Agroindustrias de la Zona de Huatusco (URPPH); Unión de Productores de la Montaña de OCOZACA, Ixhuatlán del Café; Asociación Agrícola de Coatepec, CNC; Consejo Regional del Café de Coatepec (PROCAFE); Unión General Obrero Campesino y Popular (UGOCP); Unión de Comunidades Indígenas de la Región del Istmo (UCIRI); Cooperativa de Mujeres Cafetaleras de Coatepec (CORECAFECO); Central Independiente de Obreros Agrícolas y Campesinos (CIOAC).

Nuestro proyecto y las investigaciones realizadas se vieron beneficiadas mediante los intercambios intelectuales con colegas de otros centros académicos como el Centro Regional Universitario de Oriente (CRUO), Universidad Autónoma de Chapingo; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, sede Xalapa (INIFAP); Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO), Universidad Veracruzana; Colegio de Agrónomos de Veracruz; Colegio de Posgraduados de Chapingo, sede Veracruz (COLPOS); Instituto de Investigaciones Sociales, de la UNAM (IIS-UNAM); Universidad de Yale (EUA).

Reconocemos la participación de personas de varias instancias gubernamentales que coadyuvaron a orientar el enfoque aplicado del proyecto, necesario para lograr un balance entre la conservación y el bienestar socioeconómico: Consejo Regulador del Café de Veracruz, A.C. (CRCVAC); Consejo Veracruzano del Café (COVERCAFE); Dirección de Agricultura, Secretaría de Desarrollo Agricultura y Pesca de Veracruz (SEDARPA); Instituto Veracruzano de Desarrollo (INVEDER); Comisión Veracruzana de Comercio (COVECA); Comisión Nacional Forestal (CONAFOR); Fundación PRODUCE, Veracruz A.C.; y Fundación Internacional de Investigación en Ciencias Sociales y Administración (FIICSA).

Finalmente, agradecemos a todos los investigadores, técnicos y estudiantes participantes en el proyecto “Bio-café”, por su amplia disposición, y espíritu de trabajo en equipo, lo cual nos permitió generar la información científica publicada en esta obra.

**Robert H. Manson, Vicente Hernández-Ortiz,
Sonia Gallina y Klaus Mehlreter**
EDITORES

Directorio de autores

INVESTIGADORES Y TÉCNICOS:

Guadalupe M. Bárcenas Pazos

(Investigador Asociado)

Unidad de Recursos Forestales, INECOL

guadalupe.barcenas@inecol.edu.mx

Área de interés: Aprovechamiento y conservación de recursos forestales

Armando Contreras Hernández

(Investigador Asociado)

Departamento de Ecología Aplicada, INECOL

armando.contreras@inecol.edu.mx

Área de interés: Manejo y conservación de recursos naturales

Raymundo Dávalos Sotelo (Investigador Titular)

Unidad de Recursos Forestales, INECOL

raymundo.davalos@inecol.edu.mx

Área de interés: Características tecnológicas de los productos forestales

Cuauhtémoc Deloya López

(Investigador Asociado)

Departamento de Entomología, INECOL

cuauhtemoc.deloya@inecol.edu.mx

Área de interés: Ecología y taxonomía de coleópteros saprófagos y fitófagos

Sonia Gallina Tessaro (Investigador Titular)

Departamento de Biodiversidad y Ecología Animal, INECOL

sonia.gallina@inecol.edu.mx

Área de interés: Biología y conservación de mamíferos con énfasis en ungulados

José G. García Franco (Investigador Titular)

Departamento de Ecología Funcional, INECOL

jose.garcia.franco@inecol.edu.mx

Área de interés: Ecología vegetal, interacciones ecológicas (planta-planta, planta-animal)

Daniel Geissert (Investigador Titular)

Departamento de Ecología Aplicada, INECOL

daniel.geissert@inecol.edu.mx

Área de interés: Geomorfología y suelos

Alberto González Romero (Investigador Titular)

Departamento de Biodiversidad y Ecología Animal, INECOL

alberto.gonzalez@inecol.edu.mx

Área de interés: Ecología y manejo de vertebrados con énfasis en comunidades de mamíferos y reptiles

Caleb E. Gordon (Profesor Asistente)

Department of Biology

Lake Forest College, USA

gordon@lakeforest.edu

Área de interés: Agroecosistemas cafetaleros, efectos de la fragmentación

Gabriela Heredia Abarca (Investigador Titular)

Departamento de Biología de Suelos, INECOL

gabriela.heredia@inecol.edu.mx

Área de interés: Diversidad, taxonomía y ecología de hongos del suelo y de restos vegetales

Vicente Hernández Ortiz (Investigador Titular)
Departamento de Entomología, INECOL
vicente.hernandez@inecol.edu.mx
Área de interés: Biodiversidad, biología e interacciones insecto-planta con énfasis en dípteros

Rosario Landgrave (Técnico Académico)
Departamento de Ecología Funcional, INECOL
rosario.landgrave@inecol.edu.mx
Área de interés: Sistemas de información geográfica y percepción remota

Fabiola López Barrera (Investigador Titular)
Departamento de Ecología Funcional, INECOL
fabiola.lopez@inecol.edu.mx
Área de interés: Efecto de la fragmentación de bosques sobre las interacciones planta-animal, conservación, restauración y ecología del paisaje

Robert H. Manson (Investigador Titular)
Departamento de Ecología Funcional, INECOL
robert.manson@inecol.edu.mx
Área de interés: Servicios ambientales hidrológicos y sustentabilidad de agroecosistemas

Enrique Martínez Pinillos-Cueto
(Profesor Investigador)
Universidad del Papaloapan, Campus Loma Bonita
epinillos@unpa.edu.mx
Área de interés: Diseño de productos con madera

Klaus Mehlreter (Investigador Asociado)
Departamento de Ecología Funcional, INECOL
klaus.mehlreter@inecol.edu.mx
Área de interés: Ecología y conservación de helechos.

Victor R. Ordóñez Candelaria
(Investigador Asociado)
Unidad de Recursos Forestales, INECOL
victor.ruben@inecol.edu.mx
Área de interés: Mecánica y uso estructural de la madera

María M. Ordóñez Reséndiz
(Técnico Académico)
Museo de Zoología, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM
mor@servidor.unam.mx

Área de interés: Taxonomía de coleópteros Chrysomelidae y Curculionidae

Luis Quiroz Robledo (Investigador Asociado)
Departamento de Entomología, INECOL
luis.quiroz@inecol.edu.mx
Área de interés: Taxonomía de Formicidae (Hymenoptera)

María I. Rodrigues Morato
(Técnico Académico)
Unidad de Recursos Forestales, INECOL
ines.morato@inecol.edu.mx
Área de interés: Estudios sobre viveros y reforestación del bosque

Vinicio J. Sosa Fernández (Investigador Titular)
Departamento de Ecología Aplicada, INECOL
vinicio.sosa@inecol.edu.mx
Área de interés: Mutualismos planta-vertebrado, efectos de la fragmentación y conservación de agroecosistemas

Cesar Tejeda Cruz (Investigador Asociado)
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
cesar.tejedacruz@gmail.com
Área de interés: Conservación de aves en paisajes fragmentados.

Tarín Toledo Aceves (Coordinador de proyecto)
Dirección General de Bioinformática, CONABIO
ttoledo@xolo.conabio.gob.mx
Área de interés: Ecología forestal y manejo de recursos forestales no maderables

Jorge Valenzuela González (Investigador Titular)
Departamento de Entomología, INECOL
jorge.valenzuela@inecol.edu.mx
Área de interés: Ecología y comportamiento de insectos sociales

Carlos H. Vergara Briceño
(Profesor Investigador)
Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad de las Américas, Puebla
carlosh.vergara@udlap.mx
Área de interés: Polinizadores, sistemática, biología y biogeografía de abejas

Guadalupe Williams Linera (Investigador Titular)
Departamento de Ecología Funcional, INECOL
guadalupe.williams@inecol.edu.mx
Área de interés: Ecología, biodiversidad y restauración ecológica de bosques

ESTUDIANTES:

Rosa M. Arias Mota (Estudiante)
Doctorado en Microbiología
Posgrado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Alejandro A. Castro Luna (Estudiante)
Doctorado en Ciencias
Posgrado del Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Veracruz

Jessica Contreras (Estudiante)
Licenciatura en Biología
Departamento de Ciencias Químico-Biológicas
Universidad de las Américas, Puebla

José F. Dzul Cauich (Estudiante)
Maestría en Ciencias
Posgrado del Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Veracruz

Renata Ferrari (Estudiante)
Licenciatura en Biología
Departamento de Ciencias Químico-Biológicas
Universidad de las Américas, Puebla

David Hernández Conrique (Estudiante)
Doctorado en Ciencias
Posgrado del Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Veracruz

Gerardo Hernández Martínez (Estudiante)
Doctorado en Ecología y Recursos Naturales
Posgrado del Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Veracruz

Eloísa Hernández Salazar (Estudiante)
Licenciatura en Biología
Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Zona Xalapa, Veracruz

Alejandra Ibáñez García (Estudiante)
Licenciatura en Biología
Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Zona Orizaba-Córdoba, Veracruz

Ana López Gómez (Estudiante)
Doctorado en Ecología y Desarrollo Sustentable
Posgrado de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)
San Cristóbal de las Casas, Chiapas

Dora L. Martínez Tlapa (Estudiante)
Licenciatura en Biología
Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz

René Murrieta Galindo (Estudiante)
Doctorado en Ciencias
Posgrado del Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Veracruz

Jovita Paredes (Estudiante)
Licenciatura en Biología
Departamento de Ciencias Químico-Biológicas
Universidad de las Américas, Puebla

Estudios de la biodiversidad en cafetales

ROBERT H. MANSON, ARMANDO CONTRERAS HERNÁNDEZ
Y FABIOLA LÓPEZ-BARRERA

Resumen

En este capítulo se resalta la importancia de la cafecultura en la conservación de la biodiversidad de México, país megadiverso, así como en mantener el bienestar socio-económico de una proporción significativa de la población rural. Asimismo, se señalan los retos que enfrentan los productores de café en la aplicación de las prácticas convencionales de producción y la búsqueda de estrategias de manejo sustentables a través de los conceptos y métodos de la ciencia agroecológica. Aplicando un enfoque interdisciplinario, multi-taxonómico y participativo, el proyecto buscó superar los sesgos implícitos en los estudios científicos de estos agroecosistemas, que hasta la fecha han limitado sus contribuciones. Se evaluaron la biodiversidad (12 grupos de plantas y animales), los servicios ambientales (secuestro de carbono, fertilidad del suelo, captación de agua y polinización), las estrategias de manejo y el contexto socio-económico de fincas de café en el centro del estado de Veracruz, utilizando 18 fincas y tres fragmentos de bosque como sitios de estudio de largo plazo. El proyecto convocó a tres organizaciones de cafecultores del centro del estado de Veracruz, México, para divulgar sus resultados y, junto con ellos, generar información relevante para: 1) caracterizar las estrategias de manejo del café de la región, 2) evaluar su impacto sobre la biodiversidad, los servicios ambientales y la productividad en cada finca, 3) identificar recursos de uso potencial y 4) elaborar propuestas de política pública que permitan un desarrollo con equidad.

Abstract

This chapter reviews the arguments regarding the importance of shade coffee production in conserving of the biodiversity of mega-diverse México, as well as in maintaining the socio-economic wellbeing of an important segment of the population. In addition, we highlight some of the challenges facing coffee growers using conventional production strategies or interested in pursuing more sustainable management practices developed from the science of agroecology. Using an interdisciplinary, multi-taxonomic and participative approach we designed a project that sought to overcome some of the main biases present in studies of coffee agroecosystems and that have limited their impact to date. The biodiversity (12 groups of plants and animals), ecosystem services (including carbon sequestration, soil fertility and water capture, and pollination), management strategies, and the socio-economic context of coffee farms in central Veracruz, Mexico, were evaluated using 18 coffee farms and three forest fragments treated as long-term study sites. The project worked with three groups of coffee growers in this region to transmit the main findings of this research regarding the characterization of coffee management strategies, the evaluation of their impacts on the structure and function of coffee farms, the identification of alternative revenue sources, and the development of public programs that promote equitable development.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la agricultura es cada vez más importante para la conservación de la biodiversidad de México, un país megadiverso (Mittermeier *et al.* 1997). Casi tres cuartas partes de la superficie del planeta y un 67.3% de la superficie de México están cubiertas por ecosistemas manejados o modificados por seres humanos (Pimentel *et al.* 1992, McNeely 1995, Palacio-Prieto *et al.* 2000, SAGARPA 2007), lo cual ha resultado en cambios fuertes en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas a nivel mundial (Vitousek *et al.* 1997). Debido a la dominancia de los sistemas agropecuarios, la mayoría de las modificaciones de su manejo, incluso los que parecen insignificantes, pueden repercutir en la conservación de la biodiversidad y los servicios ambientales en México y del resto del mundo (Tilman *et al.* 2002, MEA 2005). Por ello, y tomando en cuenta el crecimiento esperado de la población humana en el mundo, un reto sumamente importante en el siglo XXI es entender el impacto de diferentes estrategias de manejo de cultivos sobre la conservación de la biodiversidad y la productividad, así como alcanzar un balance sustentable entre ambas (McNeely 1995, Stinner *et al.* 1997, Vandermeer *et al.* 1998, Tilman 1999, Tilman *et al.* 2002).

En la historia de la humanidad el origen de la agricultura fue fundamental para el desarrollo de las grandes civilizaciones (Wolf 1971, Diamond 1998). Cuando la producción de alimentos se integra a las formas de producción capitalista se profundizan las contradicciones entre los ciclos de renovación de la naturaleza y su explotación por el hombre. Con el impulso de la Revolución Verde (iniciada en la década de 1950) se identifica una crisis profunda en la agricultura moderna, fue entonces que el concepto de agroecosistema (Hernández 1954) permitió relacionar en la producción agraria las características físicas, bióticas, sociales, económicas y culturales (Altieri 1987, Gómez Pompa *et al.* 1993, Gliessman 2000). Desde la agroecología se revaloran las prácticas campesinas de producción y se impulsa la investigación de las formas de producción ecológica, tendientes a la sustentabilidad (Tilman *et al.* 2002).

Desde la perspectiva agroecológica se ilustra la importancia socio-económica de la producción del café en México y las tendencias recientes en el mercado internacional. México ocupa actualmente el octavo lugar a nivel mundial de producción de café

con una superficie sembrada de más de 806 mil ha, de las cuales 670 mil ha (83%) se cultivan como café de sombra con una baja productividad menor a 8 Qq/ha (Bartra 2004, ICO 2006, SAGARPA 2007). En México, el café ha sido el principal producto agrícola de exportación durante los últimos 25 años y cuenta con 282 mil productores en 4,557 comunidades en 12 estados (INMECAFE 1990, Nestel 1995, SAGARPA 2007). Además, la cafecultura genera un promedio anual de 700 mil empleos, de los cuales dependen por lo menos 2.3 millones de personas (Nolasco 1985, Moguel y Toledo 2004). El último conteo nacional realizado en México indicó que los cafecultores de México son pequeños productores (92% con cultivos < 5 ha) e incluyen un porcentaje alto de comunidades indígenas (30 etnias en total y un 57% de municipios donde se cultiva el café cuenta con poblaciones indígenas importantes; INMECAFE 1990, Bartra 2004). Es quizá, debido a estos factores que aun cuando ha sido notable la tecnificación y simplificación de la producción del café en México. Según otras fuentes actualmente el 10% se caracteriza como café de sol y el 25% como monocultivo de sombra o policultivo comercial, aún quedan casi dos terceras partes de la superficie sembrada bajo manejos tradicionales, una situación que contrasta notablemente con la de muchos otros países en América Latina (Rice y Ward 1996, Moguel y Toledo 1999, 2004).

Durante la última década, gracias a la desregulación, sobreproducción, y concentración del poder del mercado en manos de cada vez menos transnacionales (Ponte 2002), los cafecultores en México han sufrido reducciones en su producción y algunos de los precios más bajos en su historia (Eakin *et al.* 2006, ICO 2006), lo cual ha resultado en una reducción del 65% en sus ingresos netos (Fonseca 2006). Debido a esta crisis mundial se estima que más de 300 mil personas perdieron su empleo y abandonaron sus fincas sólo en México (LaFranchi 2001), dejando el destino de las plantaciones en la incertidumbre (Fonseca 2006). Enfrentando altos costos fijos de producción, una reducción en fuentes alternativas de ingreso, baja rentabilidad y alta inversión en tecnología, muchos productores están buscando alternativas a la tecnificación de sus cultivos (Rice y Ward 1996, O'Brian y Kinnaird 2003). Una opción para muchos cafecultores ha sido el registro de café certificado para alcanzar mercados alternativos donde el precio es más alto y más estable. Sin embargo, también existen aun muchos retos e incertidumbre

en el crecimiento de los mercados de café certificado (Gobbi 2000, Rappole *et al.* 2003a, Rice 2004). Una tercera alternativa, la reconversión de fincas de café a otros cultivos más intensivos (p.ej. monocultivos sin sombra forestal), podría tener consecuencias aún más graves para la conservación de la biodiversidad y los servicios ambientales en zonas montañosas de los trópicos (Geist y Lambin 2002, Donald 2004). Hacen falta estudios interdisciplinarios dentro del marco de la agroecología que puedan ayudar a los productores a identificar y superar los retos asociados con el desarrollo de estrategias de manejo más sustentables (Perfecto *et al.* 2005, Gordon *et al.* 2007).

Tanto la estructura como la ubicación geográfica de las fincas de café de sombra en México hacen que este tipo de agroecosistema sea importante en la conservación de la biodiversidad mexicana. Varios estudios argumentan que la estructura vegetal compleja de estos y otros sistemas agroforestales puede ser muy parecida a la de los bosques nativos y por ello pueden albergar muchas especies (Perfecto *et al.* 1996, Moguel y Toledo 1999, Schroth *et al.* 2004). Estudios realizados con monos (Williams-Guillen *et al.* 2006), aves (Greenberg *et al.* 1997a, 1997b, Tejeda-Cruz y Sutherland 2004, Komar 2006), murciélagos, ranas, y escarabajos (Pineda *et al.* 2005a), así como estudios de diferentes grupos de insectos (Nestel *et al.* 1993, Ricketts *et al.* 2001, Perfecto *et al.* 1997, Arellano *et al.* 2005) han mostrado que las fincas de café de sombra mantienen el hábitat para las especies especialistas del bosque. Estudios similares con epífitas (Solis-Montero *et al.* 2005, Hietz 2005), hierbas y arbustos (Mayfield y Daily 2005, Potvin *et al.* 2005) y árboles (Bandeira *et al.* 2005, Potvin *et al.* 2005, Soto-Pinto *et al.* 2001, 2007) muestran que el manejo de bajo impacto o tradicional del café con sombra también ayuda a conservar las estructuras complejas y la alta diversidad de especies de plantas típicas de la comunidad observada en los bosques de la misma región.

En México, los cafetales se sobreponen altitudinalmente con los bosques templados, en particular el bosque mesófilo de montaña (BMM) o bosque de niebla (Challenger 1998). Este tipo de bosque ocupa menos del 1% de la superficie total de México pero contiene entre 10 y 12% de todas las especies de plantas y animales que existen en México (Ramamoorthy *et al.* 1993; Rzedowski 1996) por lo que es uno de los ecosistemas más diversos de México por unidad de superficie. Asimismo, el aislamiento climatológico y

físico de este ecosistema ha creado un ambiente favorable para la evolución de nuevas especies de plantas y animales, muchas de ellas endémicas (Ramamoorthy *et al.* 1993, CONABIO 1998). Además de su alta biodiversidad, la distribución de éste y otros tipos de bosques montañosos en las partes altas de las cuencas hace que sean muy importantes por los servicios ambientales que suministran. Por ejemplo, la captación y purificación de agua, el control de erosión de suelos y azolve de los ríos, así como la regulación de desastres naturales como deslaves e inundaciones que han afectado grandes extensiones de México en sus tierras bajas (Stadtmüller y Agudelo 1990, Myers 1997, Bruijnzeel 2001, Bubb *et al.* 2004). Debido en gran parte a la sobreposición de zonas cafetaleras y el BMM, las regiones cafetaleras ocupan sólo un 0.4% de la superficie de México pero abarcan 14 (9.3%) de las 151 Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) del país (Arriaga *et al.* 2000, Moguel y Toledo 2004). Cabe resaltar que los estados de Chiapas, Veracruz y Oaxaca, aparte de ser los principales productores del café en México (Nestel 1995, SAGARPA 2007), también albergan la mayor proporción de la biodiversidad del país (CONABIO 1998, Moguel y Toledo 1999, 2004).

A pesar de su importancia para la conservación de la biodiversidad y en proporcionar servicios ambientales claves, el BMM está sumamente amenazado a nivel mundial (Hamilton *et al.* 1995). Se estima que en México más del 50% del BMM ya ha sido reemplazado por otros usos de suelo (Challenger 1998). En el estado de Veracruz se ha perdido el 40% de este tipo de bosque (bosque no perturbado) sólo en las últimas dos décadas debido en gran parte a su conversión a potreros, cultivos, zonas urbanas y fraccionamientos, y sobre todo, a bosque perturbado (periodo de estudio 1984-2000; Williams-Linera *et al.* 2002, Manson *et al.* 2004).

Durante este mismo periodo la superficie sembrada de café en el estado de Veracruz aumentó 58% de 96,985 a 152,993 hectáreas (SAGARPA 2007). Mientras que es sumamente difícil distinguir entre una finca de café de sombra y un bosque perturbado a través de sensores remotos, si uno supone que una parte importante de la superficie clasificada como bosque perturbado son cafetales arbolados, entonces la ampliación en la producción de café podría explicar, en parte, el aumento impresionante de la cobertura de bosque perturbado (153%) observado durante las últimas dos décadas (caracterizado principalmente como “premontane tropical wet forest” *sensu* Holdridge

et al. 1987, Manson datos no publicados). Datos de este mismo estudio muestran que el aumento de bosques perturbados en las zonas montañosas de Veracruz (arriba de los 800 msnm) se debe primordialmente a la reconversión de otros cultivos (51%) y la degradación de bosques no perturbados (44%). Estos patrones resaltan la necesidad de comprender la capacidad de las fincas de café bajo diferentes tipos de manejo para conservar la estructura y funcionamiento de los ecosistemas boscosos. Esto nos permitirá evaluar el impacto de los cambios de uso de suelo sobre la conservación de la biodiversidad de esta región de México y desarrollar estrategias que contribuyan a fomentar prácticas de manejo sustentables de estos agroecosistemas sin que se afecte aún más el bosque no perturbado (Philpott y Dietsch 2003, Rappole *et al.* 2003a y 2003b, O'Brien y Kinnaird 2003 y 2004, Dietsch *et al.* 2004).

Aunque existen cada vez más estudios sobre el papel de las fincas de café en la conservación de la biodiversidad también existen muchos sesgos en estos estudios que han limitado la comparación y generalización de los resultados (Cuadro 1.1; Capítulo 2). Aunado a ello, hacen falta estudios que incorporen explícitamente la conceptualización de fincas de café como agroecosistemas o sistemas en donde “se aplican conceptos de ecología en el diseño de estrategias de manejo sustentable” (Fig. 1.1; Gliessman 2000). Desde esta perspectiva, las fincas de café son sistemas sumamente complejos y se requiere de un entendimiento profundo tanto de las interacciones ecológicas entre individuos, poblaciones, y comunidades, como de los procesos ecosistémicos y los servicios ambientales que se generan (Vandermeer 1995, Altieri 1999, Gliessman 2000, Tilman *et al.* 2002). Sin embargo, parece que aún no hemos logrado este nivel de entendimiento ni siquiera para algunos de los grupos taxonómicos mejor estudiados (Komar 2006). En general, parece que hay pocos estudios multi-taxonómicos realizados en agroecosistemas de café (promedio de 1.6 grupos), existen sesgos fuertes hacia grupos como aves e insectos, hay pocos estudios de largo plazo (1.5 años), pocas repeticiones de sitios de estudio (10.2 sitios) y poca representatividad de las estrategias de manejo que caracterizan el gradiente de intensificación típico para este agroecosistema en América Latina (Moguel y Toledo 1999, Capítulo 2; Cuadro 1.1). También, hacen falta estudios de los servicios ambientales proporcionados por estos agroecosistemas (el enfoque de sólo el 18% de estudios revisados; Cuadro 1.1).

Otro aspecto de los agroecosistemas de café que es muy importante considerar es su contexto regional o su papel a nivel del paisaje. Muy pocos estudios han analizado el efecto de variables del paisaje en la biodiversidad dentro de los cafetales, a pesar de que puede ser significativo (Perfecto *et al.* 2003; véanse resultados del Capítulo 19). Más raros aún son los estudios que evalúen el efecto relativo de los agroecosistemas sobre el funcionamiento de los ecosistemas adyacentes. Los agroecosistemas de café pueden servir como corredores que facilitan el movimiento de las especies de bosque entre los fragmentos forestales (Vandermeer y Carvajal 2001). También pueden reducir los impactos negativos de efectos de borde sobre los remanentes de bosque que quedan en la región (Murcia 1995, Gascon y Lovejoy 1998, Ries *et al.* 2004), ya que forman transiciones más suaves entre el bosque y la matriz, generando menos efectos de borde negativos dentro del bosque y la posibilidad de que cuando los cafetales se abandonen éstos se conviertan en bosque rápidamente (Lopez-Barrera 2004). Estudios particulares han registrado que hay especies que se comparten entre los fragmentos de bosque y los cafetales de sombra, sin embargo, lo más característico de nuestra región de estudio es la alta complementariedad que se ha registrado en diversos grupos taxonómicos (Pineda *et al.* 2005b, Williams-Linera *et al.* 2005). Aun con todas estas evidencias, hacen falta políticas públicas que ayuden al mantenimiento de un paisaje funcional, por el contrario, las políticas agrícolas prevalecientes en la región de estudio fomentan el cambio de cafetales a cultivos como caña, ganadería o fraccionamientos urbanos. La mayoría de los esquemas de pago de servicios ambientales tampoco consideran la distribución de los agroecosistemas cafetaleros, sino solamente el área que ocupan, generando con ello poco estímulo de las asociaciones de cafetaleros para mantener una visión de paisaje al mantener sus fincas relativamente conectadas (Tschardtke *et al.* 2005). El proyecto biocafé incide en este punto, generando información acerca del contexto de los agroecosistemas a nivel del paisaje y socializando entre los productores la importancia del entorno de sus unidades de manejo.

Conscientes de los retos descritos anteriormente, para estudiar los agroecosistemas cafetaleros en el proyecto Biocafé se desarrolló un tipo de proyecto que incluyera un enfoque multi-taxonómico, interdisciplinario, en escalas mayores (temporales y espaciales), en el centro del estado de Veracruz, que se aproximará al conocimiento

Cuadro 1.1. Resumen de 56 estudios publicados entre 1990 y 2007 enfocados al desempeño de las fincas de café en la conservación de la biodiversidad. El enfoque de cada estudio se caracterizó como biodiversidad (div), servicios ambientales (SA) o ambos. En algunos casos fue difícil determinar el número de sitios de café utilizados y se presentan varias interpretaciones posibles para la consideración del lector con el número más confiable fuera de los paréntesis. La estrategia de manejo utilizada fue caracterizada según Moguel y Toledo (1999) como: RU (rústico), PT (Policultivo tradicional), PC (Policultivo comercial), MS (Monocultivo de sombra), SO (café de sol; véase Capítulo 2). También se describen el número y tipo de especies estudiadas y la duración del estudio.

Autor	Año	Enfoque	Sitios	Manejo	Taxa	Años	Grupos
Ibarra-Núñez	1990	div	1	PT	1	2	Artrópodos
Nestel <i>et al.</i>	1993	div	6	PT, MS, SO	1	1	Macro-Coleoptera
Estrada <i>et al.</i>	1993	div	4	café	1	2	Mamíferos (murciélagos)
Estrada <i>et al.</i>	1994	div	4	café	1	2	Mamíferos
Thiollay	1995	div y SA	4	café	2	1	Aves y vegetación
Gallina <i>et al.</i>	1996	div	4	PC-MS, SO	1	1	Mamíferos
Greenberg <i>et al.</i>	1997a	div	4 (6)	PC-MS, SO	1	1	Aves
Greenberg <i>et al.</i>	1997b	div	? (220 pts)	RU-PC	1	2	Aves
Beer <i>et al.</i>	1998	div	-	Café de sombra	-	-	Especies arbóreas
Calvo y Blake	1998	div	2(25, 24 pts)	PT-MS	2	-	Aves y especies arbóreas
Estrada <i>et al.</i>	1998	div	3	café	1	2	Insectos (escarabajos)
Wunderle y Latta	1998	div y SA	14	Café de sombra	2	2	Aves y vegetación
Wunderle	1999	div y SA	40	Café de sombra	2	1	Aves y vegetación
Roberts <i>et al.</i>	2000	div	6	PT,SO	1	2	Hormigas
Soto-Pinto	2000	SA	36	PT-PC	-	3	-
Greenberg <i>et al.</i>	2000	div y SA	3	PC-SO	2	1	Aves e insectos
Johnson y Sherry	2001	div	5	PC-MS	2	1	Aves e insectos
Rojas <i>et al.</i>	2001	div	9	PC-MS,SO	1	1	Insectos
Ricketts <i>et al.</i>	2001	div	6	PC-MS,SO	1	1	Mariposa nocturna
Alexander <i>et al.</i>	2001	div	-	Café de sombra	1	-	Insectos (moscas)
Botero y Verhelst	2001	div	-	Café de sombra	2	-	Aves y especies arbóreas
Soto-Pinto <i>et al.</i>	2001	div y SA	61	Café de sombra	1	-	Especies maderables
Perfecto y Vandermeer	2002	div	2	PT,MS-SO	1	2	Hormigas
Klein <i>et al.</i>	2002a	div	12	RU-MS	1	1	Abejas y avispas
Perfecto <i>et al.</i>	2003	div	4(12)	RU,PT,PC	3	1	Aves, hormigas y mariposas
Peeters <i>et al.</i>	2003	SA	16	PT-PC,MS	-	1	Árboles
Klein <i>et al.</i>	2003b	div y SA	24	café	1	1	Insectos (abejas)
Armbrrecht y Perfecto	2003	div	4	PT	1	-	Insectos (hormigas)
Daily <i>et al.</i>	2003	div	1(27)	café	1	1	Mamíferos
Lindell y Smith	2003	div	6	SO	2	2	Aves y vegetación
Mas y Dietsch	2003	div	3	RU-PT	2	1	Mariposas y vegetación
Schaller <i>et al.</i>	2003	div	4	PC	1	2	Árboles
Villavicencio y Valdez	2003	div	8	RU	1	-	Especies arbóreas
Klein <i>et al.</i>	2003a	div y SA	15		2	1	Abejas y vegetación
Klein <i>et al.</i>	2003b	div y SA	15				Abejas y vegetación
Carlo <i>et al.</i>	2004	div	2	RU-PC	2	1	Aves y especies arbóreas
Cohen y Lindell	2004	div	4	Café	1	2	Aves
Mas y Dietsch	2004	div	7	RU-PT-PC-MS	3	1	Mariposas, aves y vegetación
Perfecto <i>et al.</i>	2004	div	2	PT-MS	2	2	Aves y especies arbóreas
Philpott <i>et al.</i>	2004a	div	1	Café de sombra	3	1	Aves, hormigas, otros artrópodos y especies arbóreas
Philpott <i>et al.</i>	2004b	div	2	PT	3	1	Moscas, hormigas y vegetación
Ricketts	2004	div y SA	1	MS	2	2	Abejas y polinización
Tejeda-Cruz y Sutherland	2004	div y SA	6	PT-MS-SO	2	2	Aves y vegetación
Williams-Linera	2005	div	30	Café de sombra	1	-	Especies arbóreas
Arellano <i>et al.</i>	2005	div	8	Café de sombra	1	-	Insectos (escarabajos)
Armbrrecht <i>et al.</i>	2005	div	16	PT-MS-SO	1	1	Insectos (hormigas)
Bandeira <i>et al.</i>	2005	div	22	Café de sombra	1	-	Especies arbóreas
Cruz-Angon y Greenberg	2005	div	1(2)	PC	2	2	Aves y epífitas
Numa <i>et al.</i>	2005	div	12	MS-SO	1	1	Mamíferos (murciélagos)
Philpott y Foster	2005	div	2	PT	2	2	Hormigas y vegetación
Solis-Montero <i>et al.</i>	2005	div	3	PC	1	1	Vegetación (orquideas)
Lopez-Gomez y Williams-Linera	2006	div	8	PT-PC	1	-	Árboles
Borkhataria <i>et al.</i>	2006	div	1	Café	3	-	Aves, insectos y reptiles (lagartos)
Gordon <i>et al.</i>	2007	div	16	PT-PC-SO	3	2	Aves, mamíferos y vegetación
Philpott <i>et al.</i>	2006	div	12	RU-PT	2	2	Hormigas y vegetación
Shankar-Raman	2006	div	5	PC-MS	2	-	Aves y vegetación

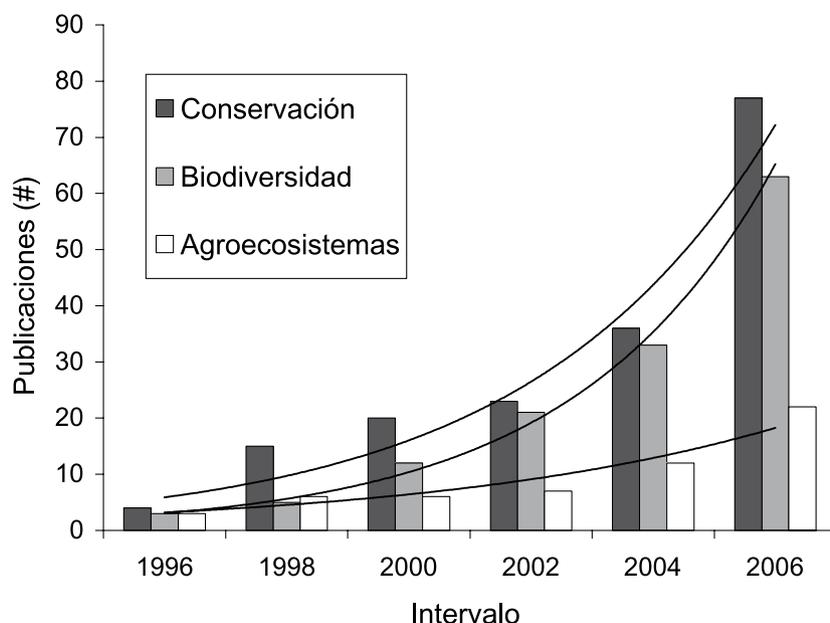


Figura 1.1. Número de publicaciones registradas en la base científica "ISI Web of Science" durante intervalos de dos años usando las siguientes palabras clave: café y conservación, café y biodiversidad, y café y agroecosistemas. Mientras que el interés en las fincas de café como elementos importantes en la conservación parece estar en aumento, los estudios científicos de la biodiversidad y sobre todo la aplicación de conceptos de agroecología que respaldarían cualquier plan de conservación incluyendo estos agroecosistemas no están creciendo a la misma tasa (véase líneas de tendencia).

integral del cafetal. Además de reconocer el gradiente de intensificación del manejo de los cafetales sobre la estructura (biodiversidad), se incluyeron también estudios de cambios en el funcionamiento de estos agroecosistemas a través del monitoreo de varios servicios ambientales claves proporcionados por fincas, ubicados a lo largo de este mismo gradiente de manejo (secuestro de carbono, polinizadores, captación de agua y mantenimiento de la fertilidad del suelo). Todos los aspectos de esta investigación se realizaron trabajando directamente con los productores de café en el centro del estado de Veracruz, con la esperanza de generar conocimiento básico y aplicable a corto plazo, para el desarrollo de estrategias de manejo sustentables que lograran un balance entre la conservación del patrimonio biológico de México y el bienestar socio-económico de productores de café en el centro del estado de Veracruz.

MATERIAL Y MÉTODOS

Región y sitios de estudio

El estudio se realizó en la zona montañosa de la región central de Veracruz, entre los 1000 y 1350

msnm, dentro del intervalo altitudinal óptimo para el cultivo de café en la región (Fig. 1.2; Marchal y Palma 1985). La precipitación anual varía entre los 1350 y 2200 mm, mientras que la temperatura media anual oscila entre 12 y 19 °C. En la región se presentan tres estaciones bien definidas: la fría seca a finales de Octubre-Noviembre a Marzo, la época cálida seca de Abril a Mayo y la cálida húmeda de Junio a Septiembre-October (Williams-Linera *et al.* 1995). Actualmente, la región está dominada por zonas agrícolas (33.4%), bosques perturbados (incluyendo café 24%), bosques no perturbados (23.1%) y pastizales (16.2%). Las zonas urbanas aún no ocupan un porcentaje importante de la superficie (1.5%), sin embargo, aumentaron un 440% durante el periodo 1984-2000 (Manson datos no publicados).

El estado de Veracruz fue en el año 2000 el segundo productor de café en el ámbito nacional (SIAP 2002) y más del 90% del café producido en el estado es café de sombra (Eakin *et al.* 2006). La región central de Coatepec-Huatusco contribuyó a la producción estatal con un 42.25% de la producción total. Esta región cuenta con 21,089 productores y 58,712 hectáreas cultivadas con café, lo que corresponde al 7.33%

de la superficie cultivada en México y hace que sea considerada la segunda zona productora de café más importante del país (Cafés de México 2006). La zona de estudio abarca siete municipios del centro del estado de Veracruz incluyendo Xalapa, Coatepec, Xico, Teocelo, Totutla, Ixhuatlán del Café y Huatusco los cuales están ubicados en la parte alta de las cuencas de los ríos Antigua y Jamapa y surten de agua a 26% de la población del estado (Fig. 1.2).

Las 17 fincas de café y tres fragmentos de bosque mesófilo de montaña (BMM) incluidos en este estudio se seleccionaron con el fin de representar puntos distintos a lo largo del gradiente de intensificación de manejo que es típico para esta región. Estos sitios de estudio se clasificaron inicialmente utilizando las categorías propuestas en el esquema general de los sistemas de producción de café en México (Cuadro 1.2; Nolasco 1985, Moguel y Toledo 1999; Capítulo 2) que se distinguen por el grado de complejidad estructural (densidad y diversidad de árboles de sombra) y el uso de agroquímicos (Figura 1.2; Cuadro 1.2). Dentro de cada sitio de estudio se ubicaron un promedio de 10 puntos permanentes de muestreo separados por una distancia mínima de 50 m con el fin de asegurar que fueran puntos de observación independientes; en algunos sitios se establecieron menos puntos permanentes debido al tamaño de la finca (174 puntos en total; Cuadro 1.2).

Muestreos de biodiversidad

Dentro de círculos de 25 m de radio alrededor de cada punto, se caracterizó la estructura de la vegetación, mientras que para cada unidad de producción, las prácticas de manejo y la condición socio-económica del productor se registraron a través de un cuestionario. Esta información se utilizó para proponer un nuevo sistema de clasificación de los sitios incluidos en el estudio (Capítulo 2).

Además, usando estos puntos como referencia común se realizaron conteos de aves, mamíferos pequeños y medianos, murciélagos, reptiles y anfibios, artrópodos incluyendo Diptera, Coleoptera y Formicidae (Hymenoptera); así como helechos, orquídeas, bromelias, árboles y hongos (Capítulos 4-14). Los métodos usados en estos conteos son muy variados pero cabe destacar que son métodos estándar, reconocidos internacionalmente para cada grupo de organismos. La sobreposición de estos conteos en puntos

permanentes permitió el monitoreo a largo plazo de las interacciones entre grupos de organismos que podrían influir en la productividad de fincas de café, relacionándolo con las diferencias en manejo que tienen las fincas. Además, la inclusión de sitios de bosque como controles en el estudio es importante al estimar la capacidad de las fincas de café bajo diferentes estrategias de manejo para conservar la biodiversidad del BMM que una vez predominó en la región. Toda la información colectada de estos conteos se organizó en una base de datos general del proyecto usando el programa Microsoft Access.

En general, los análisis de datos de los inventarios biológicos se orientaron a comparar la riqueza específica, la diversidad (función de Shannon [H']), la similitud de especies (índices de Jaccard), la abundancia relativa o la densidad (según el grupo de organismos) entre los sitios (tipos de cafetal y BMM); las épocas o meses del año, y los tratamientos específicos de cada estudio (con tenchos *vs.* destenchado, dosel *vs.* sotobosque, etc.). Además, el análisis de la diversidad se complementó mediante métodos de rarefacción (curvas de acumulación de especies), métodos no paramétricos y métodos bayesianos (Colwell y Coddington, 1994, Soberón y Llorente 1993, Moreno *et al.* 2006) y cuando fue necesario se realizaron ajustes a un modelo logarítmico normal de abundancia de las especies de los conjuntos de organismos. Estos análisis se presentan en los capítulos correspondientes a cada grupo taxonómico (Capítulos 4 al 14).

Los servicios ambientales que se evaluaron fueron el estado nutricional de los suelos y su capacidad de canalizar agua al subsuelo, el almacenamiento de carbono tanto en cafetales como en los fragmentos de BMM y la polinización del cafeto. Después de establecer los cambios cuantitativos en estos servicios a lo largo de un gradiente de estrategias de manejo de café, se utilizaron los datos socioeconómicos disponibles para evaluar sus posibles impactos sobre la productividad de las fincas incluidas en el estudio y, en algunos casos su valor económico estimado.

Estudios socio-económicos

La caracterización social y económica de los productores se realizó en tres escalas: nacional, regional y para cada finca (véanse Capítulos 2 y 3). En el ámbito nacional se utilizaron las variables productivas del sector agrario, tomando como fuente de información los

Censos de Población y Vivienda (INEGI 1992 y 2000) los Censos Agropecuarios y la información específica de la cafecultura (INEGI 1995, INMECAFE 1990), así como los trabajos de gran visión (De Grammont

y Tejera 1996, Bartra 2002). Para comprender las estrategias de manejo a escala local se trabajó con tres organizaciones, identificando su presencia en la zona, el número de agremiados y la capacidad de respuesta a las necesidades de los productores, complementada con la documentación para la cafecultura local (Marchal y Palma 1985, Ramírez 1988, Escamilla 1993). La identificación de estrategias de gestión en finca aportó información particular para comprender las decisiones en la producción, así como el perfil socio cultural de sus propietarios y su margen de movilidad económica y productiva (van der Ploeg y Long 1994, Contreras 2000). Una vez aceptado el compromiso de los productores y la organización local se visitaron las explotaciones. Se aplicó una encuesta para caracterizar las unidades de producción, algunas de las preguntas fueron: datos generales de la explotación, el perfil cultural de los productores, fuentes de ingreso, parcelas que constituyen la finca, instalaciones y maquinaria, mano de obra que ocupa, manejo de la vegetación, actividades agrícolas, otras producciones, subvenciones otorgadas, estrategias de gestión, percepción del cafetal y producción de café por ha por cosecha (Moguel y Toledo 1999; Capítulo 2). En visitas periódicas a lo largo de tres años en las explotaciones se conoció a los productores, al personal de la finca, el manejo de jornaleros, principales interlocutores en la cadena productiva, ciclo de trabajo, ajustes ante los imprevistos y perspectivas de manejo. Los avances de investigación y la participación de los productores encontraron un diálogo en los talleres de capacitación que permitió ajustar la organización del proyecto, entendido como un proyecto de investigación-acción (Contreras *et al.* 1999, Boege 2003; Capítulo 3). Con la información anterior se convocó a los productores a reuniones periódicas. Los temas de trabajo fueron tres: el estudio de la biodiversidad y los servicios ambientales, manejo de las fincas de café y avances de investigación.

La participación directa y el apoyo de los productores en todas las fases del proyecto aseguró que los productores fueran adoptando los resultados de las investigaciones y aumentarían sus oportunidades de desarrollar e implementar estrategias de manejo de menor impacto para el medio ambiente y en algunos casos cambio de prácticas para mejorar sus ganancias por el cultivo de café. Algunos de los mecanismos para promover y divulgar los resultados del proyecto fueron: i) las 27 reuniones mensuales con los productores e investigadores, ii) 3 talleres participativos en los que se explicaron los objetivos,

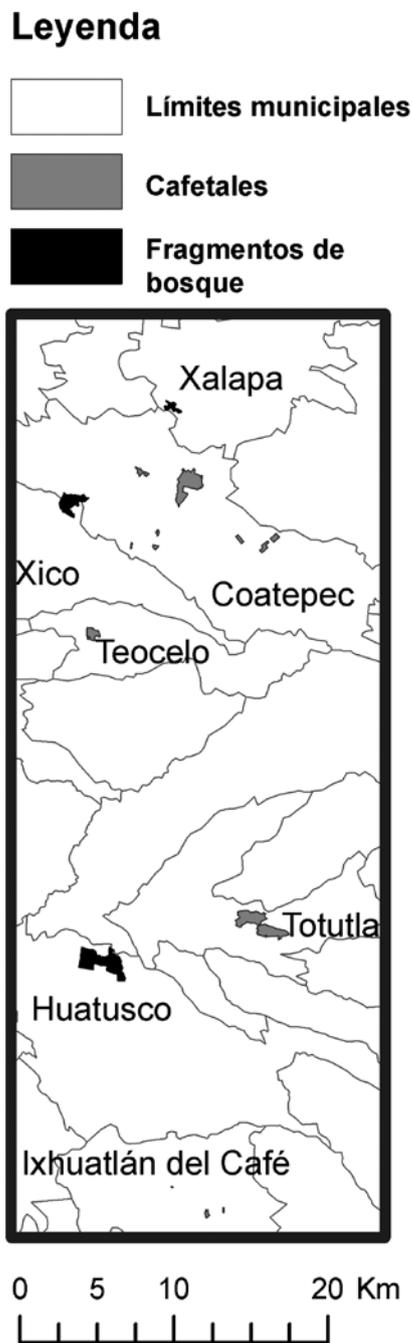


Figura 1.2. Zona de estudio en el centro del estado de Veracruz incluyendo la zona Xalapa-Coatepec (arriba) y de Huatusco (abajo) en donde se encuentran los 17 fincas de café (gris) y los tres fragmentos de bosque mesófilo de montaña (negro) que sirvieron como testigos.

Cuadro 2.2. Descripción de los 20 sitios de estudio incluyendo su tamaño, la zona en que se encuentra, sus coordenadas en términos de latitud y longitud, el número de puntos permanentes de muestreo, y el tipo de manejo según Moguel y Toledo (1999): fragmento de bosque mesófilo de montaña (BMM), café rústico (RUS), policultivo tradicional (TRA), policultivo comercial (COM), monocultivo de sombra (MON) o café de sol (SOL). Véase el Capítulo 2 para una descripción más detallada de estos sitios.

Sitio	Tamaño (has)	Zona	Latitud y Longitud	Puntos de Muestreo	Tipo de Manejo
CAÑ	298.62	Huatusco	19°11'23",96°59'11"	10	BMM
PAR	31.54	Coatepec	19°30'47",96°56'30"	10	
MAS	30.17	Coatepec	19°27'38",96°59'46"	10	
MIR	140.57	Huatusco	19°12'57",96°53'7"	12	RUS
VBM	113.85	Huatusco	19°12'14",96°52'44"	10	
NES	195.99	Coatepec	19°27'59",96°56'3"	10	TRA
VCS	113.85	Huatusco	19°12'16",96°53'15"	10	
ESM	19.31	Coatepec	19°28'26",96°57'18"	10	
ARM	15.74	Coatepec	19°26'1",96°52'32"	10	
ZOP	10.26	Coatepec	19°26'8",96°53'55"	10	
ALU	6.43	Coatepec	19°25'54",96°57'2"	5	
PAM	3.25	Coatepec	19°26'26",96°56'51"	2	
ONZ	1.96	Coatepec	19°25'56",96°57'50"	10	
AUR	1.32	Huatusco	19°2'32",96°54'45"	5	
PAN	0.71	Coatepec	19°26'26",96°56'51"	2	
MOR	10.51	Huatusco	19°2'27",96°55'23"	5	COM
AXO	0.68	Huatusco	19°3'18",96°56'40"	3	
VSE	113.85	Huatusco	19°12'22",96°53'4"	10	MON
MAR	17.38	Coatepec	19°25'49",96°52'55"	10	
SOL	45.04	Coatepec	19°22'53",96°59'17"	10	SOL

metas, actividades y productos del proyecto; los avances del proyecto y la divulgación de los resultados parciales y finales de proyecto, iii) la publicación de 7 manuales para los productores que les permitan entender y utilizar el conocimiento generado por el proyecto.

REFERENCIAS

- Alexander B, Agudelo LA, Navarro F, Ruiz F, Molina J, Aguilera G, Quiñónez ML. 2001. Phlebotomine sandflies and leishmaniasis risks in Colombian coffee plantations under two systems of cultivation. *Medical and Veterinary Entomology* 15:364-373.
- Altieri MA. 1987. *Agroecology: The Scientific Basis of Alternative Agriculture*. Segunda Edición. Westview Press. Boulder CO. 227 p.
- Altieri MA. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74:19-31.
- Armbrrecht I, Perfecto I. 2003. Litter-twig dwelling ant species richness and predation potential within a forest fragment and neighboring coffee plantations of contrasting habitat quality in Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97:107-115.
- Armbrrecht I, Rivera L, Perfecto I. 2005. Reduced Diversity and Complexity in the Leaf-Litter Ant Assemblage of Colombian Coffee Plantations. *Conservation Biology* 19(3):897-907.
- Arriaga L, Espinoza JM, Aguilar C, Martínez E, Gómez L, Loa E, coordinadores. 2000. *Regiones Terrestres Prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México, DF. 609 p.
- Arellano L, Favila ME, Huerta C. 2005. Diversity of dung and carrion beetles in a disturbed Mexican tropical montane cloud forest and on shade coffee plantations. *Biodiversity and Conservation* 14:601-615.
- Bandeira FP, Martorell C, Meave JA, Caballero J. 2005. The role of rustic coffee plantations in the conservation of wild tree diversity in the Chinantec region of Mexico. *Biodiversity and Conservation* 14:1225-1240.
- Bartra A. 2002. El aroma de la historia social del café. Semanario El lunes en la Ciencia. La jornada. 14 de junio de 2001.

- Bartra A. 2004. Mesoamericanos: recalentando una identidad colectiva. En: Ceceña E, editor. *Hegemonías y emancipaciones en el siglo XXI*. Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, Buenos Aires, Argentina. 224 p.
- Beer J, Muschler R, Kass D, Somarriba E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164.
- Boege E. 2003. Protegiendo lo nuestro: manual para la gestión ambiental comunitaria, uso y conservación de la biodiversidad de los campesinos indígenas de América Latina. 2a. edición No. 3, PNUMA/ORPALC, Semarnat, México, DF. 165 p.
- Borkhataria RR, Collazo JA, Groom MJ. 2006. Additive effects of vertebrate predators on insects in a Puerto Rican coffee plantation. *Ecological Applications* 16(2):696-703.
- Botero JE, Verhelst JC. 2001. Turquoise dacnis *Dacnis hartlaubii*, further evidence of use of shade coffee plantations. *Cotinga* 15:34-36.
- Bruijnzeel LA. 2001. Hydrology of tropical montane cloud forests: a reassessment. *Land Use and Water Resources Research* 1:1.1-1.18 (www.luwrr.com).
- Bubb P, May I, Miles L, Sayer J. 2004. Cloud forest agenda. UNEP-WCMC, Cambridge, UK, 36 p.
- Cafés de México. 2006. SAGARPA entregó el FIDECAFE a la Asociación Mexicana de la Cadena Producto de Café A. C. Edición especial —diciembre—. <http://www.cafesdemexico.com> (Consultada en febrero de 2007).
- Calvo L, Blake J. 1998. Bird diversity and abundance on two different shade coffee plantations in Guatemala. *Bird Conservation International* 8:297-308.
- Carlo TA, Collazo JA, Groom MJ. 2004. Influences of fruit diversity and abundance on bird use of two shaded coffee plantations. *Biotropica* 36(4):602-614.
- Challenger A. 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, DF, 847 p.
- Cohen EB, Lindell CA. 2004. Survival, habitat use, and movements of fledgling whitethroated robins (*Turdus assimilis*) in a costa rican agricultural landscape. *The Auk* 121(2):404-414.
- Colwell RK, Coddington JA. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B* 345:101-118.
- CONABIO. 1998. *La diversidad biológica de México: Estudio de País*, 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F., 341 p.
- Contreras A, Monserrat I, Soto P, Lobillo P, Garcés E, Nicolás P. 1999. *Dicen los ganaderos: taller para el cuidado de la Dehesa*. Instituto de Sociología y Estudios Campesinos ISEC, Universidad de Córdoba y Sociedad Cooperativa Andaluza Corpedroches. 132 p.
- Contreras A. 2000. *Estrategias de gestión de la Dehesa: percepción y manejo del arbolado en el valle de los Pedroches (Córdoba), España*. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, España. 206 p.
- Cruz-Angón A, Greenberg R. 2005. Are epiphytes important for birds in coffee plantations? An experimental assessment. *Journal of Applied Ecology* 42:150-159.
- Daily GC, Ceballos G, Pacheco J, Suzánand G, Sánchez-Azofeifa A. Countryside biogeography of neotropical mammals: Conservation opportunities in agricultural landscapes of Costa Rica. *Conservation Biology* 17:1814-1826.
- De Grammont HC, Tejeda Gaona H, coordinadores. 1996. La Sociedad Rural Mexicana Frente al Nuevo Milenio. "Los Nuevos Actores Sociales y Procesos Políticos en el Campo". Plaza y Valdez. Vol. IV. México, DF. 360 p.
- Dietsch TV, Philpott SM, Rice RA, Greenberg R, Bichier P. 2004. Conservation policy in coffee landscapes. *Science* 303:625.
- Diamond JM. 1998. *Guns, Germs and Steel: the fates of human societies*. W. W. Norton & Company, NY. 480 p.
- Donald PF. 2004. Biodiversity Impacts of Some Agricultural Commodity Production Systems *Conservation Biology* 18(1):17-37.
- Eakin H, Tucker, CM, Castellano E. 2006. Responding to the coffee crisis: a pilot study of farmers' adaptations in Mexico, Guatemala and Honduras. *The Geographical Journal* 172(2):156-171.
- Escamilla PE. 1993. Los sistemas de producción de café en el centro de Veracruz: Un análisis tecnológico. Simposio Modernización Tecnológica, Cambio Social y crisis Cafetaleras. 13-16 de julio de 1993. Universidad Nacional de Costa Rica e Instituto Costarricense del Café. Heredia, Costa Rica.
- Estrada A, Coates-Estrada R, Meritt D Jr. 1993. Bat species richness and abundance in tropical rain forest fragments and in agricultural habitats at Los Tuxtlas, Mexico. *Ecography* 16:309-318.
- Estrada A, Coates-Estrada R, Meritt D Jr. 1994. Non flying mammals and landscape changes in the tropical rain forest region of Los Tuxtlas, Mexico. *Ecography* 17:229-241
- Estrada A, Coates-Estrada R, Anzures Dadda A, Cammarano P. 1998. Dung and carrion beetles in tropical rain forest fragments and agricultural habitats at Los Tuxtlas, Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 14:577-593.
- Fonseca, SA. 2006. El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad. *Gaceta ecológica* (Instituto Nacional de Ecología) 80:19-31.

- Gallina S, Mandujano S, González-Romero A. 1996. Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of Central Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems* 33:13-27.
- Gascon C, Lovejoy TE. 1998. Ecological impacts of forest fragmentation in central Amazonia. *Zoology-Analysis of Complex Systems* 101(4):273-280.
- Geist HJ, Lambin EF. 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *Bioscience* 52(2):143-150.
- Gliessman SR. 2000. *Agroecology*. CRC Press, Boca Raton, FL. 384 p.
- Gobbi JA. 2000. Is biodiversity-friendly coffee financially viable? An analysis of five different coffee production systems in western El Salvador. *Ecological Economics* 33:267-281.
- Gómez-Pompa A, Kaus A, Jiménez-Osornio J, Bainbridge D, Rorive VM. 1993. Mexico. En: NRC, editores. Sustainable agriculture and the environment in the humid tropics, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C. 704 p.
- Gordon C, Manson RH, Sundberg J, Cruz Angón A. 2007. Biodiversity, Profitability, and Vegetation Structure in Coffee Agroecosystems of Central Veracruz, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118:256-266.
- Greenberg R, Bichier P, Cruz Angón A, Reitsma R. 1997a. Bird populations in shade and sun coffee plantations in Central Guatemala. *Conservation Biology* 11(2):448-459.
- Greenberg R, Bichier P, Sterling J. 1997b. Bird populations in rustic and planted shade coffee plantations of eastern Chiapas, Mexico. *Biotropica* 29(4):501-514.
- Greenberg R, Bichier P, Cruz Angón A, MacVean C, Perez R, Cano E. 2000. The impact of avian insectivory on arthropods and leaf damage in some Guatemalan coffee plantations. *Ecology* 81(6):1750-1755.
- Hamilton LS, Juvik JO, Scatena FN, editores. 1995. Tropical Montane Cloud Forests. *Ecological Studies Series* 110, Springer-Verlag, NY., 407 p.
- Hernández X. 1954. Zonas agrícolas de México. Ateneo Nacional Agronómico. Nueva Agronomía. Estudios del campo mexicano, Ed. Atenagro, México. 12 p.
- Hietz P. 2005. Conservation of Vascular Epiphyte Diversity in Mexican Coffee Plantations. *Conservation Biology* 19(2):391-399.
- Holdridge LR. 1987. *Ecología basada en zonas de vida*. IICA. San José, Costa Rica. 216 p.
- Ibarra-Núñez G. 1990. Los artrópodos asociados a cafetos en un cafetal mixto del Soconusco, Chiapas, México. I. Variedad y Abundancia. *Folia Entomológica Mexicana* 79:207-231.
- ICO. 2006. Datos Históricos. Organización Internacional del Café. <http://www.ico.org/historical.asp>
- INEGI 1992. XI Censo General de Población y Vivienda 1990. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, DF.
- INEGI 1995. Censo Agropecuario. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, DF.
- INEGI 2000. XII Censo General de Población y Vivienda 2000 (Datos preliminares). Secretaría de Programación y Presupuesto. México, DF.
- INMECAFE. 1990. Censo Nacional de Café. Instituto Mexicano del Café, México, DF.
- Johnson MD, Sherry TW. 2001. Effects of food availability on the distribution of migratory warblers among habitats in Jamaica. *Journal of Animal Ecology* 70:546-560.
- Klein A-M, Steffan-Dewenter I, Tscharrntke T. 2002a. Predator-prey ratios on cocoa along a land-use gradient in Indonesia. *Biodiversity Conservation* 11:683-693.
- Klein A-M, Steffan-Dewenter I, Buchori D, Tscharrntke T. 2002b. Effects of land-use intensity in tropical agroforestry systems on coffee flower-visiting and trap-nesting bees and wasps. *Conservation Biology* 16(4):1003-1014.
- Klein AM, Steffan-Dewenter I, Tscharrntke T. 2003a. Bee pollination and fruit set of *Coffea arabica* and *C. canephora* (rubiceae). *American Journal of Botany* 90(1):153-157.
- Klein AM, Steffan-Dewenter I, Tscharrntke T. 2003b. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *The Royal Society*, 270:955-961.
- Komar O. 2006. Priority contribution, ecology and conservation of birds in coffee plantations: a critical review. *Bird Conservation International* 16:1-23.
- LaFranchi H. 2001. *Economic Upheaval over coffee - rising production and falling demand bankrupt farms from Indonesia to Mexico*. Christian Science Monitor (http://www.jubileersearch.org/finance/economic_unheaval_coffee.htm).
- Lindell C, Smith M. 2003. Nesting bird species in sun coffee, pasture, and understory forest in southern Costa Rica. *Biodiversity and Conservation* 12:423-440.
- López-Barrera F. 2004. Estructura y función en bordes de bosques. Ecosistemas. Revista electrónica de la Asociación Española de Ecología Terrestre (<http://www.revistaecosistemas.net>)
- Lopez-Gomez AM, Williams-Linera G. 2006. Evaluación de métodos no paramétricos para la estimación de riqueza de especies de plantas leñosas en cafetales. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 78:7-15.
- Marchal J, Palma R. 1985. Análisis gráfico de un espacio regional: Veracruz. INIREB, ORSTOM. Xalapa, Ver. 220 p.
- Mas AH, Dietsch TV. 2003. An index of management intensity for coffee agroecosystems to evaluate butterfly species richness. *Ecological Applications* 13(5):1491-1501.

- Mas AH, Dietsch TV. 2004. Linking shade coffee certification to biodiversity conservation: butterflies and birds in Chiapas, Mexico. *Ecological Applications* 14(3):642-654.
- Mayfield MM, Daily GC. 2005. Countryside biogeography of neotropical herbaceous and shrubby plants. *Ecological Applications* 15(2):423-439.
- McNeely JA. 1995. How traditional agro-ecosystems can contribute to conserving biodiversity. En: Halladay PG, Gilmour DA, editores. *Conserving Biodiversity Outside Protected Areas*. Cambridge, UK, UICN. p. 20-36.
- MEA. 2005. *Ecosystems and Human Well-being*. Millenium Ecosystem Assessment, Island Press, New York, 245 p.
- Mittermeier RA, Robles-Gil P, Mittermeier CG. 1997. *Megadiversidad: Los países biológicamente más ricos del mundo*. México, D.F., Cementos Mexicanos.
- Moguel P, Toledo VM. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13(1):11-21.
- _____. 2004. Conservar produciendo: biodiversidad, café orgánico y jardines productivos. *Biodiversitas* 55:2-7.
- Moreno C, Zuria I, García Zenteno M, Sánchez Rojas G, Castellanos I, Martínez Morales M, Rojas Martínez A. 2006. Trends in the measurement of alpha diversity in the last two decades. *Interciencia* 31:67-71.
- Murcia C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology & Evolution* 10(2):58-62.
- Myers N. 1997. The world's forests and their ecosystem services. En: Daily GC, editor. *Natures Services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington, DC. p. 215-235.
- Nestel D, Dickshen F, Altieri MA. 1993. Diversity patterns of soil macro-Coleoptera in Mexican shaded and unshaded coffee agroecosystems: an indicator of habitat perturbation. *Biodiversity and Conservation* 2:70-78.
- Nestel DF. 1995. Coffee in Mexico: international market, agricultural landscape and ecology. *Ecological Economics* 15:165-178.
- Nolasco M, editor. 1985. *Café y Sociedad en México*. Centro de Ecodesarrollo, México, DF, 454 p.
- Numa C, Verdú JR, Sánchez-Palomino P. 2005. Phyllostomid bat diversity in a variegated coffee landscape. *Biological Conservation* 122:151-158.
- O'Brien, TG, Kinnaird MF. 2003. Caffeine and conservation. *Science* 300:587.
- O'Brien, TG, Kinnaird MF. 2004. Conservation policy in coffee landscapes-response. *Science* 303:625-626.
- Palacio-Prieto JL, Bocco G, Velásquez A *et al.* 2000. Technical Note: Current situation of forest resources in Mexico: results of the 2000 National Forest Inventory. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 43:183-203.
- Peeters LYK, Soto-Pinto L, Perales H, Montoya G, Ishiki M. 2003. Coffee production, timber, and firewood in traditional and Inga-shaded plantations in Southern Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 95:481-493.
- Perfecto I, Rice RA, Greenburg R, Van der Voort ME. 1996. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. *Bioscience* 46(8):598-608.
- Perfecto I, Vandermeer J, Hanson P, Cartín V. 1997. Arthropod biodiversity loss and the transformation of a tropical agro-ecosystem. *Biodiversity and Conservation* 6(7):935-945.
- Perfecto I, Vandermeer J. 2002. Quality of agroecological matrix in a tropical montane landscape: ants in coffee plantations in southern Mexico. *Conservation Biology* 16(1):174-182.
- Perfecto I, Mas AH, Dietsch T, Vandermeer J. 2003. Species richness along an agricultural intensification gradient: A tri-taxa comparison in shade coffee in southern Mexico. *Biodiversity and Conservation* 12:1239-1252.
- Perfecto I, Vandermeer JH, López Bautista G, Ibarra-Núñez G, Greenberg R, Bichier P, Langridge S. 2004. Greater predation in shaded coffee farms: the role of resident neotropical birds. *Ecology* 85(10):2677-2681.
- Perfecto I, Vandermeer J, Mas A, Soto Pinto L. 2005 Biodiversity, yield, and shade coffee certification. *Ecological Economics* 54:435-446.
- Philpott SM, Dietsch T. 2003. Coffee and conservation: a global context and the value of farmer involvement. *Conservation Biology* 17:1844-1846.
- Philpott SM, Greenberg R, Bichier P, Perfecto I. 2004a. Impacts of major predators on tropical agroforest arthropods: comparisons within and across taxa. *Oecologia* 140:140-149.
- Philpott SM, Maldonado J, Vandermeer J, Perfecto I. 2004b. Taking trophic cascades up a level: behaviorally-modified effects of phorid flies on ants and ant prey in coffee agroecosystems. *Oikos* 105:141-147.
- Philpott SM, Foster PF. 2005. Nest-site limitation in coffee agroecosystems: artificial nests maintain diversity of arboreal ants. *Ecological Applications* 15(4):1478-1485.
- Philpott SM, Perfecto I, Vandermeer J. 2006. Effects of management intensity and season on arboreal ant diversity and abundance in coffee agroecosystems. *Biodiversity and Conservation* 15:139-155.
- Pimentel, D, Stachow, U, Takacs, DA *et al.* 1992. Conserving Biological Diversity in Agricultural Forestry Systems - Most Biological Diversity Exists in Human-Managed Ecosystems. *Bioscience* 42(5):354-362.
- Pineda E, Moreno C, Escobar F, Halffter G. 2005a. Frog, Bat, and Dung Beetle Diversity in the Cloud Forest and Coffee Agroecosystems of Veracruz, Mexico. *Conservation Biology* 19(2):400-410.

- Pineda E, Moreno C, Halffter G, Escobar F. 2005b. Transformación del Bosque de niebla en agroecosistemas cafetaleros: Cambios en las diversidades alfa y beta de tres grupos faunísticos. En: Halffter G, Soberon J, Koleff P, editores. *Sobre diversidad biológica: El significado de las diversidades alfa, beta y gamma*. Monografía Tercer Milenio, Vol. 4, Sociedad Entomológica Aragonesa, CONABIO, DIVERSITAS-México, CONACYT. p. 177-190.
- Ponte S. 2002. The 'latte revolution'? Regulation, markets and consumption in the global coffee chain. *World Development* 30:1099-1122.
- Potvin C, Owen CT, Melzi S, Beaucage P. 2005. Biodiversity and modernization in four coffee producing villages of Mexico. *Ecology and Society* 10(1):18. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art18/>
- Ramírez E. 1988. Historia del café (texto e imágenes). SARH-INMECAFÉ. Veracruz. México.
- Rappole JH, King DI, Vega JH. 2003a. Coffee and conservation. *Conservation Biology* 17:334-336.
- Rappole JH, King DI, Vega JH. 2003b. Coffee and conservation III: reply to Philpott and Dietsch. *Conservation Biology* 17:1847-1849.
- Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J, editores. 1993. *Biological diversity of Mexico: origins and distribution*. Oxford University Press, NY, 812 p.
- Ries L, Fletcher RJ, Battin J, Sisk TD. 2004. Ecological responses to habitat edges: mechanisms, models and variability explained. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 35:491-522.
- Rice RA, Ward JR. 1996. *Coffee, Conservation, and Commerce in the Western Hemisphere*. White Paper #2, Un reporte en conjunto entre el Smithsonian Migratory Bird Center y Natural Resources Defense Council, Washington, DC (EUA). (<http://www.nrdc.org/health/farming/ccc/cp-tinx.asp>).
- Rice R.A. 1999 A Place Unbecoming: The Coffee Farm of Northern Latin America. *The Geographical Review* 89:554-580.
- Rice R. 2003. Coffee Production in a Time of Crisis: Social and Environmental Connections. *SAIS Review* 23(1):221-245.
- Rice RA. 2004. Noble goals and challenging terrain: organic and fair trade coffee movements in the global marketplace. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 14(1):39-66.
- Ricketts TH, Daily GC, Ehrlich PR, Fay JP. 2001 Country-side biogeography of moths in a fragmented landscape: biodiversity in native and agricultural habitats. *Conservation Biology* 15(2):378-388.
- Ricketts TH. 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology* 18(5):1262-1271.
- Roberts DL, Cooper RJ, Petit LJ. 2000. Flock characteristics of ant-following birds in premontane moist forest and coffee agroecosystems *Ecological Applications* 10(5):1414-1425.
- Rojas L, Godoy C, Hanson P, Kleinn C, Hilje L. 2001. Hopper (Homoptera: Auchenorrhyncha) diversity in shaded coffee systems of Turrialba, Costa Rica. *Agroforestry Systems* 53:171-177.
- Rzedowski J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana* 35:25-44.
- SAGARPA. 2007. Sistema Integral in Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimento (http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuar.html).
- Schaller M, Schroth G, Beer J, Jiménez F. 2003. Species and site characteristics that permit the association of fast-growing trees with crops: the case of *Eucalyptus deglupta* as coffee shade in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 175:205-215.
- Schroth G, Fonseca GAB, Harvey CA, Gascon C, Vasconcelos HL, Izac AMN, editores. 2004. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, Washington, DC, 523 p.
- Shankar-Raman TR. 2006. Effects of habitat structure and adjacent habitats on birds in tropical rainforest fragments and shaded plantations in the Western Ghats, India. *Biodiversity and Conservation* 15:1577-1607
- SIAP. 2002. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (consultado el 11 de noviembre de 2002: <http://www.siap.gob.mx>).
- Soberon MJ, Llorente BJ. 1993. The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. *Conservation Biology* 7(3):480-488.
- Solis-Montero L, Flores-Palacios A, Cruz-Angón A. 2005. Shade-Coffee Plantations as Refuges for Tropical Wild Orchids in Central Veracruz, Mexico. *Conservation Biology* 19(3):908-916.
- Soto-Pinto L, Perfecto I, Castillo-Hernández J, Caballero-Nieto J. 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 80:61-69.
- Soto-Pinto L, Romero-Alvarado Y, Caballero-Nieto J, Segura G. 2001. Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee plantations in Northern Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical* 49:977-987.
- Soto-Pinto L, Villalvazo-López V, Jiménez-Ferrer G, Ramírez-Marcial N, Montoya G, Sinclair FL. 2007. The role of local knowledge in determining shade composition of multistrata coffee systems in Chiapas, Mexico. *Biodiversity and Conservation*. 16(2):419-436.

- Stadmüller T, Agudelo N. 1990. Amounts and variability of cloud moisture input in a tropical cloud forest. *Int. Assoc. Hydrol. Sci. Publ.* No. 193, p. 25-32.
- Stinner DH, Stinner BR, Martsolf E. 1997. Biodiversity as an organizing principle in agroecosystem management: Case studies of holistic resource management practitioners in the USA. *Agriculture Ecosystems & Environment* 62(2):199-213.
- Tejeda-Cruz C, Sutherland WJ. 2004. Bird responses to shade coffee production. *Animal Conservation* 7:169-179.
- Tilman D. 1999. Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 96(11):5995-6000.
- Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418:671-677.
- Thiollay JM. 1995. The role of traditional agroforests in the conservation of rain forest bird diversity in Sumatra. *Conservation Biology* 9(2):335-353.
- Tscharntke T, Klein AM, Kruess A, Steffan-Dewenter I, Thies C. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystem service management. *Ecology Letters* 8(8):857-874.
- Van der Ploeg JD, Long A, editores. 1994. *Born from within: practice and perspectives of endogenous rural development*. Van Gorcum, Assen, Las Tierrasbajas. 298 p.
- Vandermeer J. 1995. The ecological basis of alternative agriculture. *Annual Review of Ecology and Systematics* 26:201-224.
- Vandermeer J, van Noordwijk M, Anderson J *et al.* 1998. Global change and multi-species agroecosystems: Concepts and issues. *Agriculture Ecosystems and Environment* 67(1):1-22.
- Vandermeer J, Carvajal R. 2001. Metapopulation dynamics and the quality of the matrix. *American Naturalist* 158(3):211-220.
- Villavicencio-Enríquez L, Valdez-Hernández JI. 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia* 37:413-423.
- Vitousek PM, Mooney HA, Lubchenco J, Melillo JM. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277:494-499.
- Williams-Guillén K, McCann C, Martínez Sánchez JC, Koontz F. 2006. Resource availability and habitat use by mantled howling monkeys in a Nicaraguan coffee plantation: can agroforests serve as core habitat for a forest mammal? *Animal Conservation* 9(3):331-338
- Williams Linera G, Sosa V, Platas T. 1995. Structure and ecology of epiphyte communities of a cloud forest in central Veracruz, Mexico. *Journal of Vegetation Science* 6(5):719-728.
- Williams-Linera G, Manson RH, Isonza-Vera E. 2002. La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques* 8(1):73-89.
- Williams-Linera G, López-Gómez AM, Muñiz-Castro MA. 2005. Complementariedad y patrones de anidamiento de especies de árboles en el paisaje de bosque de niebla del centro de Veracruz (México). En: Halffter G, Soberon J, Koleff P, editores. *Sobre diversidad biológica: El significado de las diversidades alfa, beta y gamma*. Monografía Tercer Milenio, Vol. 4, Sociedad Entomológica Aragonesa, CONABIO, DIVERSITAS-México, CONACYT. p. 153-164.
- Wolf E. 1971. *Los campesinos*. Nueva Colección Labor, Barcelona, España. 151 p.
- Wunderle JM Jr. 1999. Avian distribution in Dominican shade coffee plantations: area and habitat relationships. *Journal of Field Ornithology* 70(1):58-70.
- Wunderle JM Jr, Latta SC. 1998. Avian resource use in Dominican shade Coffee plantations. *The Wilson Bulletin* 110(2):271-281.

Clasificación agroecológica

GERARDO HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ

Resumen

Los cafetales han sido el centro de interés de muchos estudios ecológicos porque ciertos sistemas productivos conservan en gran medida la estructura y funcionamiento de los ecosistemas que reemplazan. La variación en estos sistemas es debida a condiciones ambientales, políticas gubernamentales, fluctuaciones del mercado, tecnología y cultura de los productores en diferentes regiones y países. La variabilidad de estos aspectos dificulta comparaciones entre estudios y, por tanto, la comprensión de la importancia del café en la conservación de la biodiversidad. Los estudios de los sistemas productivos del café son escasos y las clasificaciones más utilizadas se basan en aproximaciones cualitativas. Se estudiaron 18 cafetales y tres fragmentos de bosque mesófilo de montaña del centro de Veracruz, representando puntos distintos de un gradiente de intensificación del cultivo. Utilizando descriptores de la estructura del cafetal, del manejo, y socioeconómicos, analizados mediante ordenaciones multivariadas, se construyó un sistema de clasificación de las fincas y se identificaron los descriptores más importantes que explican su variación, con lo cual se puede aplicar este método de descripción a cualquier tipo de cafetal. Se encontró que el manejo de la plantación no está estrictamente correlacionado con la estructura y las estructuras más complejas no pertenecen al sector campesino. Con este estudio se pretende contribuir al entendimiento de los sistemas de cultivo e identificar las formas productivas más sustentables.

Abstract

Coffee plantations have been the focus of numerous ecological studies due to the potential of certain production strategies to conserve much of the structure (biodiversity) and function (ecosystem services) of the ecosystems they replace. Sources of variation between these different production systems include: environmental conditions, governmental policies, market fluctuations, degrees of technification, and the culture of production in different regions and countries. This variation makes comparisons between studies and understanding the importance of shade coffee in biodiversity conservation difficult. Research on the production systems employed in coffee farms is scarce and the most commonly used classifications are based on qualitative approximations. In this study 18 coffee farms and three tropical montane cloud forest fragments were chosen in central Veracruz to represent distinct points along a gradient of coffee management intensity. A generally applicable system for classifying coffee farms in the region was constructed using a multivariate analysis that considered descriptors of the biophysical structure of farms, their management practices, and socioeconomic conditions. Results of this analysis suggest that management and structure are not necessarily correlated in coffee farms, nor are the most structurally complex farms those owned by smaller-scale and more marginalized farmers. Apart from providing a new way of viewing coffee production strategies, this analysis also identified key variables for measuring the variation inherent in them, and should help identify more sustainable forms of production.

INTRODUCCIÓN

¿Por qué es necesario clasificar los sistemas de producción de café?

Desde mediados del siglo XVIII, cuando el café fue introducido a México, las formas para producir el aromático se han adecuado a las condiciones ambientales de las diferentes regiones, a los avances tecnológicos, a las políticas gubernamentales, a las fluctuaciones del mercado internacional y a la gran diferenciación cultural de los productores (Córdova 2005). Como resultado de estas variaciones, cada finca de café es única y las diferencias en las formas productivas pueden cambiar en cuestión de algunos metros de terreno. Sin embargo, a escala regional se pueden distinguir diferencias importantes en los sistemas de manejo (Nolasco 1985, Nestel 1995, Potvin *et al.* 2005, Eakin *et al.* 2006).

Al respecto, es necesario identificar las semejanzas entre la amplia gama de sistemas productivos, con la finalidad de reconocer las estrategias de producción y así, tener bases para comprender las propiedades emergentes del cultivo del café, tales como: la productividad, calidad y rentabilidad de la producción, los patrones de biodiversidad que albergan así como su contribución a la producción de servicios ambientales regionales (véase el Capítulo 1 para más información sobre la relevancia de cambios del sistema de manejo del café para la conservación de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas que reemplacen).

La clasificación mediante el uso de una tipología es una herramienta teórico-metodológica necesaria para sistematizar el conocimiento e identificar las regularidades de la realidad estudiada, al sintetizar una serie de elementos o características, a fin de formar grupos discretos del hecho o fenómeno en cuestión (Toledo *et al.* 1989, Gabriel 2003). Las tipologías han sido un instrumento importante en los trabajos ecológicos realizados en cafetales, ya que en una revisión de 17 artículos arbitrados, el 71% de los trabajos utilizan alguna forma tipológica o categórica para hacer referencia al tipo de cafetal estudiado (Hernández-Martínez datos no publicados).

Dentro de estos estudios, la tipología más usada para describir los sistemas de producción de café en México (en ocasiones extrapolada para América Latina), fue propuesta por Nolasco (1985) y enriquecida por Moguel y Toledo (1996, 1999; Figura 2.1; Cuadro 2.1). En esta clasificación se distinguen tres ejes para la comprensión de cinco sistemas productivos: la estructura del cafetal, compuesta por diferentes estratos

de especies vegetales presentes; el manejo del cafetal, que considera las labores y prácticas necesarias para mantener la productividad del cafetal; y el tipo de productor, definido por sus características socioeconómicas. Se propone que la complejidad estructural del cafetal está negativamente correlacionada con el manejo agronómico de la plantación de cafetos y el nivel socioeconómico de los productores (Moguel y Toledo 1996, 1999). Nolasco (1985) menciona que a partir de la clasificación, se identifican subconjuntos más o menos homogéneos para caracterizar el sistema de producción de café mexicano, en los que se ilustran las formas productivas campesinas como los cafetales rústicos y tradicionales, además de las derivadas del proceso de intensificación e industrialización de la producción, como los monocultivos y las plantaciones a pleno sol.

¿Por qué es necesario reexaminar la clasificación para los sistemas de producción de café?

En las clasificaciones anteriores, las categorías se construyeron de manera cualitativa y explican sólo parcialmente las variaciones encontradas en el manejo, incluso dentro un mismo sistema (Figura 2.1; Cuadro 2.1; Nolasco 1985). Por lo tanto, al ser un esquema rígido y sin parámetros bien definidos en su construcción, no puede adaptarse a las variaciones de las diversas regiones cafetaleras. Otros trabajos ponen de manifiesto que el gradiente ilustrado en la clasificación, se encuentra definido principalmente por la diversidad horizontal de las especies que conforman la sombra (Guadarrama-Zugasti 2000). Esto hace suponer que la biodiversidad, la intensidad del manejo y el tipo de productor que lo integran, varían de manera paralela, lo cual no ha sido probado y sólo permite una aproximación a las relaciones generales, pero no absolutas, las cuales no son suficientes para comprender las propiedades del agroecosistema, como tampoco los patrones de biodiversidad y su relación con las prácticas de manejo (Mass y Dietsch 2003). Por eso, y a pesar de que se hayan realizado muchos estudios ecológicos de los agroecosistemas cafetaleros (Perfecto *et al.* 1996, Moguel y Toledo 1999), aún existe un fuerte debate sobre su papel en la conservación de la biodiversidad (Philpott y Dietsch 2003, Rappole *et al.* 2003a y b, O'Brien y Kinnaird 2003, 2004, Dietsch *et al.* 2004).

Debido al reconocimiento del importante deterioro ambiental y la pérdida de los ecosistemas (estructura y sus funciones), es necesario analizar los sistemas

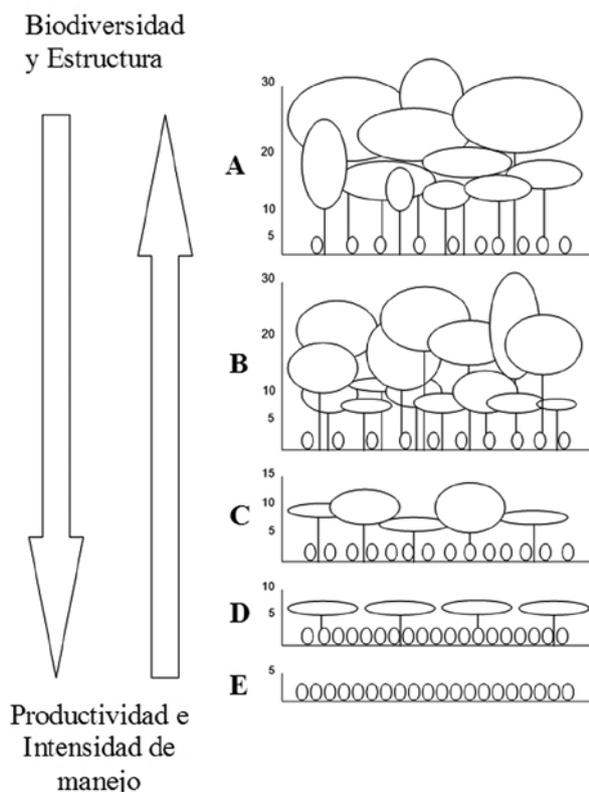


Figura 2.1. Clasificación de los sistemas de cultivo de café en México donde se ilustra un gradiente en la intensificación del cultivo que propone una relación negativa entre la estructura del cafetal-biodiversidad y la productividad-intensidad de manejo (Nolasco 1985, Moguel y Toledo 1999). Categorías de arriba hacia abajo: A) Rústico, B) Policultivo tradicional, C) Policultivo comercial, D) Monocultivo a sombra y E) A sol (modificado de Moguel y Toledo 1999). Véase el Cuadro 1.1 para una descripción más detallada de cada categoría.

productivos desde el fundamento del paradigma del desarrollo sustentable, donde desarrollo y medio ambiente no pueden estar separados. Ésta fue la conclusión principal de la comisión Bruntland (1987) que dijo que el “Medio ambiente y desarrollo no constituyen desafíos separados; están inevitablemente interligados. El desarrollo no se mantiene si la base de recursos ambientales se deteriora; el medio ambiente no puede ser protegido si el crecimiento no toma en cuenta las consecuencias de la destrucción ambiental”. Bajo esta perspectiva, el desarrollo sustentable tiene una fuerte base ecológica, donde la agroecología se define como “la aplicación de conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles”. Es decir, el desarrollo de una agricultura que sea por un lado ecológicamente adecuada y por

otro altamente productiva y económicamente viable (Gliessman 2002). De modo que el análisis descriptivo de un sistema productivo, desde un enfoque agroecológico, debiera considerar descriptores de la estructura del cultivo, de las prácticas o labores para su mantenimiento y de descriptores socioeconómicos de los productores.

En este estudio, realizado en fincas de café del centro del Estado de Veracruz, se analizó un gradiente de producción, considerando parámetros agroecológicos de la estructura del cafetal, así como los relacionados con las labores para el mantenimiento de la plantación de café, y los aspectos socioeconómicos de los propietarios de las fincas. El objetivo principal fue explicar las diferencias entre los sistemas de producción de café, es decir: ¿Cómo son las estructuras de los cafetales, que se encuentran relacionadas con la conservación de la biodiversidad y funcionamiento de los ecosistemas? ¿Cómo es el manejo de la plantación, relacionado con la cantidad y calidad productiva sostenida en el tiempo? ¿Cómo las fincas y su manejo son parte de una estrategia productiva ligada a los variados perfiles económicos y sociales de los productores? Con todo lo anterior se pueden conocer los elementos ecológicos, productivos, económicos y sociales, que permitan identificar los sistemas productivos mejor balanceados entre sus diferentes aspectos; o también se pueden vislumbrar las acciones que nos aproximan a lo que se ha definido como sustentabilidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sitios de estudio

Las 18 fincas de café se eligieron con la finalidad de tener representados puntos distintos a lo largo de un gradiente de intensificación de manejo para la región (Capítulo 1). Las fincas de café se clasificaron inicialmente según las categorías propuestas por Nolasco (1985) y Moguel y Toledo (1999) (Figura 2.1 y Cuadro 2.1); al finalizar el estudio cambiaron de categoría según la clasificación propuesta. De este modo se pudieron observar las diferencias entre el uso de una y otra clasificación. Para comparar las fincas con la estructura del bosque mesófilo de montaña, se eligieron también tres fragmentos de bosque, compuestos por una mezcla de especies primarias y secundarias, sin un manejo activo y próximos a las zonas de trabajo, teniendo así un total de 21 unidades de estudio (Cuadro 2.1 y Capítulo 1).

Cuadro 2.1. Datos generales de las fincas de estudio en la zona Coatepec-Huatusco del centro de Veracruz. Los sitios se categorizaron previamente según la clasificación de Nolasco (1985) y Moguel y Toledo (1999). Véase el Capítulo 1 para más datos geográficos de estos sitios.

Sitio	Categoría
CAÑ PAR MAS	Fragmento de bosque. Mezcla de especies primarias y secundarias sin algún tipo de manejo.
MIR VBM	Rústico. Semejante a un bosque aclarado para intercalar el café. El manejo incluye control manual de arvenses y poda ocasional de los cafetos. Se asocia con pequeños productores campesinos en zonas montañosas.
ORD VCS ESM ARM ZOP ALU PAM ONZ AUR PAN	Policultivo tradicional. Utiliza diferentes combinaciones de árboles del bosque y especies frutales introducidas. El manejo incluye control de arvenses, poda selectiva del café, se puede presentar una fertilización por ciclo y no presenta control fitosanitario. Se asocia a pequeños y medianos productores.
MOR AXO	Policultivo Comercial. Se remueve el dosel natural y se siembran árboles para dar sombra que tienen un uso comercial, por lo regular de dos a tres especies. El manejo se realiza con labores generales y particulares para cada cultivo, se utilizan cantidades considerable de agroquímicos. Se asocia a pequeños y medianos productores.
VSE MTZ	Monocultivo a sombra. Se plantan árboles, muchas veces de una sola especie. El manejo incluye control de arvenses, poda selectiva y sistemática, regulación de sombra, control fitosanitario y es indispensable el uso de agroquímicos. Se asocia principalmente con medianos y grandes productores.
CAM SOL	A sol. Sin árboles y con alta dependencia de insumos agrícolas.

Estructura de los cafetales

La estructura del cafetal se define como el conjunto de elementos vegetales que conforman la plantación de café, dentro de los cuales se pueden distinguir dos elementos principales: 1) la “sombra” del cafetal que es provista por el dosel de las especies arbóreas y 2) la plantación de cafetos. Para describir las características de la sombra se usaron cuadrantes de 20 × 20 m centrados en los puntos permanentes de muestreo de cada sitio (Cuadro 1.1 de Capítulo 1) para medir: la cobertura de epífitas (CE; %), la altura de las plantas arborescentes (AL; metros) y el área basal o volumen de madera (AB; m²/ha) de los individuos y su densidad (DA; individuos/ha); el número de especies arbóreas (RI), la proporción del

número de especies nativas (SN), la cobertura del dosel o la cantidad de sombra (CB; %), un índice de la abundancia relativa o la dominancia de las especies arbóreas que forman la sombra de la finca (Shannon: Hh) y un índice (Shannon) que describe el balance de la distribución de los árboles entre los diferentes estratos del dosel (Hv). De la plantación de cafetos se midió la densidad de plantas de café (DC; no. de plantas/ha). Para resumir esta información y generar nuevas variables independientes que expliquen la mayor parte de la variación de las estructuras de los cafetales a partir del conjunto de descriptores, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP). Los grupos de fincas que presentan estructuras similares fueron definidos mediante

un análisis de agrupamiento (Hernández-Martínez datos no publicados).

Ordenación lineal de las fincas y bosques. Otra forma de resumir y simplificar los datos de estructura de los sitios de estudio fue mediante un gradiente lineal. Éste se elaboró por medio de un Índice de Estructura del Cafetal (IEC; *sensu* Mass y Dietch 2003), en el que se estandarizaron los valores de todas las variables de la estructura entre cero y uno, correspondiendo el valor de uno al mayor de cada variable. Posteriormente se sumaron los valores de cada variable (exceptuando la densidad de café que es restada, ya que es una condición ajena al sistema natural) para obtener un gradiente de complejidad estructural. Como prueba de validación del IEC, éste se correlacionó con el primer factor generado del ACP de la estructura de la vegetación que explica el mayor porcentaje de la variación (Mass y Dietch 2003).

Manejo de la plantación de café

El manejo de la plantación del café se definió a partir de las labores necesarias para mantener la productividad del sistema. Para conocer los diferentes tipos de manejo se aplicó una encuesta a los propietarios o administradores de las fincas, elaborada según los criterios para el estudio de sistemas de producción del Consejo Mexicano del Café, SAGARPA y ASERCA, para el Censo Nacional Cafetalero (2000), el cuestionario para los Sistemas Agrarios Tradicionales: Dehesa (Porras *et al.* 1997) y la opinión de expertos en la cafecultura regional. Las repuestas del cuestionario se corroboraron en campo durante dos ciclos de cosecha: 2004-05 y 2005-06. Para describir la intensidad y el tipo de manejo, se consideró tanto el número de veces en que se realizó la labor durante un ciclo de cosecha, como el impacto potencial de la práctica sobre la biodiversidad total del sitio. Se tomaron en cuenta tres labores principales: fertilización, control de malezas y control de plagas.

En la gran mayoría de las fincas estudiadas se realiza tanto la poda de los árboles de sombra y de los cafetos de tipo selectivo, como las labores para regular la sombra. Sin embargo, debido a que estas prácticas se realizan cuando el productor lo juzga necesario, ya sea a lo largo de ciclos estacionales o multi-anales no regulares, por lo cual fueron difíciles de cuantificar y se decidió no incluirlas como descriptores del manejo.

En la mayoría de las fincas se utiliza una mezcla irregular de variedades de porte alto (*Coffea arabica*) que incluyen los cultivares (Leon 1962): Typica, Bourbon, Mundo Novo y Caturra principalmente, en el caso de las fincas a sol se utiliza la variedad Caturra y en los monocultivos el catimor CR-95; por lo cual este descriptor que es poco variable, tampoco se utilizó como elemento de variación del manejo.

En la muestra analizada se encontraron sistemas productivos con prácticas de tipo intensivo o tecnificadas, definidas bajo el paradigma de la agricultura convencional de tipo químico, las cuales son derivadas de los planteamientos de la revolución verde, que incluyen la utilización de agroquímicos como herbicidas, fertilizantes, plaguicidas y además el uso de maquinaria motorizada (Nestel 1995, Guadarrama-Zugasti 2002). También se encontraron sistemas de manejo con prácticas de tipo no convencional (alternativa y/o tradicional), como la utilización de compostas, vermicompostas, abonos naturales derivados de excrementos y hojarasca, control biológico de plagas, sustancias de baja toxicidad. Este tipo de prácticas de tipo “alternativo” aún no se encuentran bien definidas desde una perspectiva agroecológica y su aporte a las prácticas productivas forma parte del debate acerca del concepto de la agricultura alternativa (Vandermmmer 1995). Sin embargo, representan esfuerzos realizados por parte de los productores para mantener su nivel productivo, reducir costos, ganar independencia de insumos externos y mantener las funciones del agroecosistema reduciendo su degradación (Altieri 1991). Para identificar el origen tecnológico del manejo agronómico de la plantación de cafetos, éste se categorizó como: convencional, alternativo o híbrido (Guadarrama-Zugasti 2002).

Debido a la amplia variedad de estrategias de manejo observadas en la región de estudio, se consideró tanto esta medida cualitativa del manejo de la plantación de cafetos como una medida cuantitativa de su frecuencia de aplicación a través de un Índice de Impacto Biológico y su respectiva categorización (IIB; Cuadro 2.2). Para elaborar el IIB se consideró asignar a las diferentes prácticas de manejo, un factor de impacto sobre la biodiversidad total del sitio. A la fertilización alternativa (FA) realizada con composta, vermicomposta, materia fecal, pulpa de café, se le asignó el valor más bajo, ya que no se espera un impacto negativo o nocivo en el ambiente, aunque se debe contabilizar la acción como un factor ajeno al sistema

natural. La fertilización convencional (FC) mediante agroquímicos, ocupó el segundo valor de impacto, debido a que un exceso en esta práctica promueve la formación de nitratos, nitritos y nitrosaminas, que por lixiviación pueden contaminar cuerpos superficiales de agua, así como los mantos acuíferos, y al permanecer en altas cantidades en hojas de herbáceas, pueden resultar de baja toxicidad al ser ingeridos por vertebrados (Shirley 1975). Al control de malezas alternativo (MA) mediante acción mecánica y al control biológico de plagas (PA) se le asignó el tercer valor más alto, debido a que esta actividad se encuentra dirigida hacia la disminución drástica de las poblaciones de un grupo de organismos en particular y sin contaminación del medio. Por último, el valor más alto de impacto corresponde al control convencional de malezas (MC) y plagas (PC) mediante pesticidas, debido a que estas prácticas eliminan un amplio espectro de grupos de organismos y a que provocan efectos como la bioacumulación y persistencia ambiental, además de ser tóxicos en escalas de media a alta con variados efectos fisiológicos (Ferrer 2003). El IIB fue calculado con la sumatoria del impacto de las diferentes prácticas del manejo en cada finca, multiplicado por su frecuencia de aplicación. Donde los valores estandarizados indican que el valor de cero corresponde a la ausencia de manejo y uno al valor máximo de manejo para la muestra (Cuadro 2.2).

Se realizó un PCA con los descriptores del manejo para validar el IIB (Mass y Dietsch 2003). Los factores no rotados se utilizaron para asegurar que el primer componente explicara la máxima cantidad de variación. Después se comparó el primer componente con

el IIB mediante una regresión simple. El manejo en las fincas de café se clasificó como alto, medio y bajo, mediante los valores estandarizados del índice.

Características socio-económicas de los productores

Los datos para caracterizar y clasificar a los productores se obtuvieron mediante una encuesta que registró sus datos personales y los datos del conjunto de fincas que trabaja; ya que algunos dueños pueden tener varias fincas en diferentes sitios, también pueden rotar la mano de obra en sus diferentes plantaciones, tener diferentes sistemas de producción de café y otras actividades económicas en el sector de servicios y de comercio (Cuadro 2.3).

La tipología para los productores está basada en la elaborada por Nolasco (1985) pero se adecuó a nuestros datos mediante una ordenación utilizando los descriptores socioeconómicos de los productores. La ordenación de los productores se realizó mediante un análisis no paramétrico (*Non-metric Multidimensional Scaling*: NMDS) ya que las variables fueron de tipo categórico. Este análisis produce una ordenación en dos dimensiones basada en una matriz de distancias euclidianas. Los grupos de productores se definieron mediante un análisis *Cluster*, utilizando los factores producidos por el NMDS. De modo que para interpretar los patrones de agrupación y obtener la caracterización de los productores, se relacionaron los grupos encontrados, con los datos de las variables mediante correlaciones de Spearman. Para las comparaciones el valor de alfa se ajustó mediante una corrección de Bonferroni.

Cuadro 2.2. Variables utilizadas como descriptores del sistema de manejo de la plantación de cafetos en el centro de Veracruz, sus factores de impacto y las fórmulas utilizadas para calcular el Índice de Impacto Biológico (IIB).

Labor del manejo	Frecuencia en que se realiza cada tipo de labor	Factor de impacto	Valor de impacto para cada labor del manejo
(FE) Fertilización	(FA) Fertilización alternativa	1.00	$FE = (FA * 1) + (FC * 1.25)$
	(FC) Fertilización convencional	1.25	
(CM) Control de malezas	(MA) Control de malezas alternativo	1.50	$CM = (MA * 1.50) + (MC * 1.75)$
	(MC) Control de malezas convencional	1.75	
(CP) Control de plagas	(PA) Control de plagas alternativo	1.50	$CP = (PA * 1.50) + (PC * 1.75)$
	(PC) Control de plagas convencional	1.75	
			Valor del IIB para cada finca = $FE + CM + CP$

Cuadro 2.3. Descriptores socioeconómicos de los productores de 18 fincas de café en el centro del estado de Veracruz.

Abreviatura de la variable	Nombre	Unidades
AP	Número de participantes en la estructura administrativa de la producción	Dueño (0.20) y Empleados temporales (0.40) y Empleados fijos (0.60) y Encargado de finca (0.80) y Administrador (1.00)
EE	Número de empleos que se generan de manera eventual durante un ciclo de cosecha, sin contar los necesarios para el corte	Empleos
EF	Número de empleos que mantiene durante todo el ciclo de cosecha	Empleos
GE	Nivel escolar del productor	0.17: sin estudios; 0.33: primaria; 0.50: secundaria 0.67: preparatoria; 0.83: universidad; 1.00: especialidad
HT	Hectáreas totales de un productor, no sólo las consideradas para el proyecto	Hectáreas
IC	Proporción de ingreso del cafecultor obtenido de la producción de café	Porcentaje
GM	Gasto mensual del productor para mantener su nivel de vida	0.20: con \$2500; 0.40: con \$5,000; 0.60: con \$10,000; 0.80: con \$17000; 1.00: con más de \$17,000
TP	Tiempo que dedica a la producción de café	0.20: por temporada; 0.40: varios días al mes; 0.60: menos de 3 días a la semana; 0.80: medio tiempo; 1.00: tiempo completo

Relaciones entre estructura, manejo, y aspectos socio-económicos. Las relaciones entre los diferentes descriptores se analizaron mediante correlaciones de Pearson utilizando los factores producidos de cada ordenación y mediante correlaciones de Spearman utilizando los descriptores originales de la estructura biofísica y del manejo de la plantación. Para las comparaciones el valor de alfa se ajustó mediante una corrección de Bonferroni.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura de los cafetales

Una presentación gráfica de los resultados del análisis (ACP: Factor 1: 65%), muestra que la variación de las estructuras de los cafetales con sombra no es unidimensional como lo ilustra Moguel y Toledo (1999),

sino se requieren dos ejes para su entendimiento. La complejidad de las estructuras de los cafetales se presenta en dos gradientes: de las fincas del grupo A hacia el D y de B hacia D (Figura 2.2, Cuadro 2.4). Las fincas contenidas en el grupo A presentan estructuras complejas: con abundancia de epífitas, doseles altos, abundante cobertura, varios estratos e importante área basal y baja densidad de cafetos. Sin embargo, no son las fincas con más riqueza de especies de árboles, aunque presentan diversidad media e importante proporción de especies nativas. En el grupo B se encuentran las fincas con mayor riqueza y diversidad de especies arbóreas, importantes en densidad de árboles y de mayor área basal, sin embargo, la densidad de epífitas, altura y estratificación del dosel son menores que en el grupo A. En el grupo C se encuentran las fincas con estructuras similares al grupo B, aunque en general presentan simplificaciones en la mayoría de los

descriptores, principalmente en la riqueza y diversidad de especies arbóreas. En el grupo D se encuentran las fincas con sombra más simples en su estructura. Dos de los fragmentos de bosque utilizados como testigos (PAR y MAS) presentan estructuras similares a las fincas del grupo B, mientras que el fragmento CAÑ ha quedado como punto distante del conjunto de las fincas. Las fincas con producción de café a sol (grupo E; SOL y CAM), aunque carecen de dosel, se incluyeron en el análisis como referencia.

La ordenación de las fincas (Figura 2.2, Cuadro 2.4) muestra que hay cuatro grandes grupos de cafetales bajo sombra: los Rústicos (grupo A), Policultivos Diversos (grupo B), Policultivos Simples (grupo C) y Monocultivos (grupo D):

Rústicos. La definición de cultivo rústico (Nolasco 1985, Moguel y Toledo 1999) indica que del bosque natural, sólo el sotobosque es removido para establecer la plantación de café, lo cual excluye y

no permite describir la amplia variedad de formas estructurales donde los productores según sus circunstancias socioeconómicas e intereses productivos, utilizan especies arbóreas nativas primarias, pioneras e introducidas para obtener subproductos o para mantener la función del agroecosistema (Bandeira *et al.* 2005, Soto-Pinto *et al.* 2007). En este trabajo el término Rústico hace referencia a estructuras de dosel complejas, que muestran evidencias de poco o nulo manejo. Este tipo de estructuras se observaron cuando la intención del productor es sólo proveer sombra a la plantación de café y no obtener algún tipo de aprovechamiento del dosel. Las estructuras rústicas (Grupo A) asemejan un bosque “maduro”, es decir, tienen valores altos en cobertura de epífitas, la altura y la cobertura son de medias a altas, la estratificación del dosel es alta y el área basal es de media a alta. La densidad tanto de árboles de sombra como de cafetos es baja. Sin embargo, la riqueza de especies es baja, la diversidad es media y la proporción de

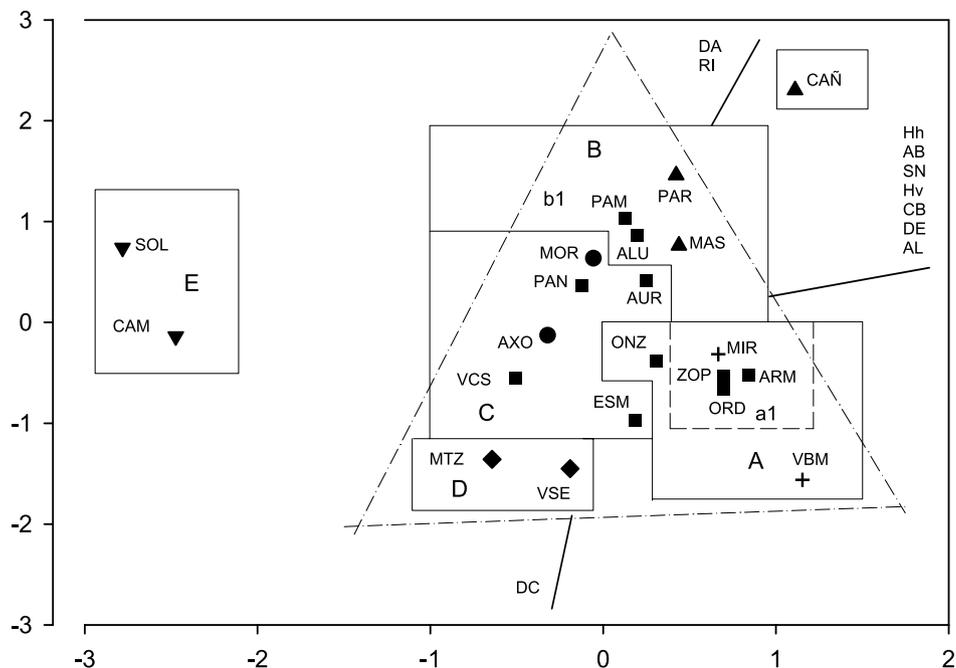


Figura 2.2. Ordenación de los sitios de estudio con base en los descriptores de la estructura del cafetal mediante un ACP. Los grupos (línea continua) y subgrupos (línea punteada) se trazaron considerando un análisis *Cluster*, realizado con los factores generados por el ACP. Las figuras corresponden a las categorías de clasificación propuestas por Nolasco (1985) y Moguel y Toledo (1999): fragmento de bosque (▲), rústico (+), policultivo tradicional (■), policultivo comercial (•), monocultivo (◆), y cultivo a sol (▼). Se muestran las variables significativamente correlacionadas, de mayor a menor correlación con cada factor. Eje X: CE, cobertura de epífitas – AL, altura. – CB, cobertura del dosel. – Hv, índice de Shannon para los estratos del dosel. – Hh, índice de Shannon para la abundancia relativa de especies de árboles. – SN, proporción de especies nativas. – AB, área basal. Eje Y: DC, densidad de cafetos. – RI, riqueza. – DA, densidad de árboles.

Cuadro 2.4. Ordenación de las 18 fincas y los tres fragmentos de BMM (Bosques) según el análisis de agrupamiento y promedios de las variables principales seleccionadas con el PCA. A, M, B, valor alto, medio o bajo en la variable; CE, cobertura de epífitas; AL, altura; CB, cobertura del doseil; Hv, índice de Shannon para los estratos del doseil; Hh, índice de Shannon para las especies; SN, proporción de especies nativas; AB, área basal; DC, densidad de cafetos; RI, riqueza; DA, densidad de árboles.

Categoría	Finca	Factor 1										Factor 2									
		CE	AL	CB	Hv	Hh	SN	AB	DC	RI	DA										
Bosques	CAN	1.79	A	10.52	M	91.00	A	1.18	A	2.91	A	0.90	A	31.49	A	0.00	-	27.25	A	751.02	A
	PAR	1.26	A	9.19	M	85.40	A	1.10	A	1.99	M	0.92	A	18.01	M	0.00	-	13.40	A	591.02	A
	MAS	1.06	A	9.57	M	90.81	A	1.20	A	1.87	M	1.00	A	12.69	B	0.00	-	8.80	B	295.51	B
Grupo A Rústicos	MIR	1.45	A	11.21	A	75.00	A	1.01	A	1.80	M	0.58	M	19.10	M	1328.98	B	8.25	B	140.82	B
	ORD	1.67	A	10.46	M	80.00	A	1.03	A	1.45	M	0.47	M	16.56	M	1554.10	B	6.30	B	165.71	B
	ARM	1.64	A	9.71	M	69.50	M	1.11	A	1.65	M	0.57	M	29.03	A	2030.81	B	6.90	B	160.82	B
	ZOP	1.32	A	10.81	M	73.00	M	1.13	A	1.45	M	0.72	A	21.28	A	1718.95	B	5.90	B	120.00	B
	VBM	1.68	A	14.69	A	78.50	A	0.79	M	1.41	M	0.60	M	16.47	M	3193.28	A	6.40	B	153.47	B
	ONZ	1.54	A	6.84	B	59.00	B	1.08	A	1.90	M	0.39	B	13.42	M	2287.58	B	8.80	B	160.00	B
Grupo B Policultivos Diversos	PAM	1.29	A	5.32	B	75.00	A	0.86	M	2.04	A	0.46	M	25.15	A	1715.69	B	15.00	M	526.53	M
	ALU	1.05	M	7.14	B	82.00	A	0.99	A	2.22	A	0.40	B	22.03	A	1481.48	B	14.40	M	424.49	M
Grupo C Policultivos Simples	PAN	1.12	A	5.25	B	77.50	A	1.00	A	1.59	M	0.34	B	12.27	B	1421.57	B	8.50	B	346.94	M
	MOR	1.02	B	6.19	B	66.00	M	1.12	A	1.16	B	0.28	B	28.42	A	1601.31	B	7.20	B	558.37	A
	AUR	1.04	M	7.33	B	85.00	A	1.16	A	1.34	M	0.45	M	26.17	A	1274.51	B	7.60	B	393.47	M
	ESM	1.03	M	10.47	M	72.50	M	0.92	A	0.96	B	0.21	B	12.38	B	2567.69	M	4.80	B	191.84	B
	VCS	1.00	B	6.36	B	67.00	M	0.51	B	0.46	B	0.23	B	8.66	B	2254.90	B	3.50	B	274.29	B
AXO	1.02	B	5.94	B	73.33	A	0.66	B	1.32	M	0.27	B	8.72	B	2140.52	B	6.67	B	310.20	B	
Grupo D Monocultivos	VSE	1.00	B	5.51	B	80.00	A	0.58	B	0.35	B	0.16	B	7.81	B	4346.41	A	3.00	B	266.12	B
	MAR	1.00	B	4.21	B	50.00	B	0.46	B	0.37	B	0.14	B	3.84	B	4183.00	A	2.67	B	167.35	B
Grupo E A sol	SOL	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	2267.97	B	0.00	-	0.00	-
	CAM	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	2500.00	M	0.00	-	0.00	-

especies nativas es de media a alta (a1: MIR, ZOP, ARM, y ORD). En este mismo grupo pero con una estructura más simple se encuentran (ONZ y VBM). Estas fincas presentan algunas simplificaciones con respecto al subgrupo a1: en VBM la estratificación del dosel es media y se presenta una alta densidad de plantas de café, en ONZ la altura, la cobertura y la proporción de especies nativas del dosel son bajas. Esta última finca se encuentra en el umbral entre lo rústico y los policultivos.

Los policultivos se han diferenciado en tradicionales y comerciales, en los primeros los bienes obtenidos se destinan al autoconsumo e intercambio y se esquematizan como estructuras aún más complejas que las fincas rústicas, ya que en el dosel natural se introducen especies de utilidad para el productor. En los policultivos comerciales la producción tiene fines mercantiles, donde se remueve el dosel natural y se siembran árboles para dar sombra que también tienen un uso comercial, regularmente de dos a tres especies (Nolasco 1985, Moguel y Toledo 1999). Estos rasgos económicos y la descripción esquemática de la estructura del dosel no siempre se reflejan en el tipo de estructura de los cafetales, por tal razón se utilizó simplemente el término de Policultivo. Esta categoría se encuentra relacionada con las estructuras de dosel no muy altas, con gran cantidad de árboles jóvenes, frutales, maderables e introducidos para dar sombra (Capítulo 4), lo que produce estructuras ricas y diversas en especies, sin embargo, no son muy complejas en su fisonomía. Este tipo de estructura es un reflejo importante de las prácticas o intenciones de aprovechamiento de subproductos derivados del dosel. Se proponen dos tipos de policultivos:

- a) *Policultivos diversos* (Grupo B). Incluye las fincas PAM y ALU que se caracterizan por presentar una estructura semejante a un bosque “joven”: la densidad de epífitas es alta, pero la altura del dosel es baja, la cobertura es alta, la estratificación va de media a alta y el área basal es alta; la densidad de árboles es media y la de plantas de café es baja; la riqueza y la diversidad de especies son las más altas de todas las fincas estudiadas. Sin embargo, la proporción de especies nativas es de baja a media.
- b) *Policultivos simples* (Grupo C). Incluye las fincas PAN, MOR, AUR, VCS, AXO y ESM, cuyas estructuras son similares a las del subgrupo B,

aunque en general presentan valores ligeramente más bajos en todos los descriptores, la diferencia más importante se encuentra en que la riqueza de especies es baja y la diversidad es de media a baja.

Monocultivos. En este tipo de estructura se plantan árboles muchas veces de una sola especie para dar sombra a los cafetos (Nolasco 1985, Moguel y Toledo 1999). Estas fincas presentaron las estructuras más simples (Grupo D), presentes en las fincas VSE y MTZ, tienen valores bajos en todos los descriptores, con excepción de la densidad de cafetos que es alta. Se debe señalar que la dominancia de una especie arbórea fue evidente, por lo cual se tomó la nomenclatura y descripción de trabajos anteriores (Nolasco 1985, Moguel y Toledo 1999), aunque la riqueza fue de 3-7 especies (Capítulo 4). Las fincas con producción de café a sol (Grupo E) comprendió las fincas SOL y CAM, aunque carecen de dosel, se incluyeron en el análisis como referencia.

Por último, dos de los tres fragmentos de bosque (PAR y MAS) presentan una estructura similar a los cafetales del grupo B, mientras que el fragmento (CAÑ) ha quedado como un punto distante del conjunto de las fincas. La semejanza de los fragmentos con las fincas nos indica que los fragmentos estudiados son bosques jóvenes o perturbados. La principal característica que distingue a los tres fragmentos de bosque de las fincas de café, es la alta proporción de especies nativas en su composición, que es superior al 90% en todos los casos. Los fragmentos PAR y MAS tienen valores altos en densidad de epífitas, la altura es media, la cobertura alta, la estratificación del dosel es alta, el área basal va de baja a media y la densidad de árboles es de baja a media. La riqueza es de baja a media y la diversidad de especies es media. El fragmento CAÑ ha quedado como punto distante de las fincas debido a que presenta valores altos para todos los descriptores, con excepción de la altura que es media.

La ordenación lineal de las fincas y bosques mediante el índice de estructura del cafetal IEC, nos muestra que los fragmentos de bosque tienen las estructuras más complejas y por eso los valores más altos, mientras que los monocultivos muestran la situación contraria con las estructuras más simples y valores del índice más bajos, dentro de las fincas arboladas. Las fincas a sol presentaron valores negativos, debido a que son sistemas donde no se presentan elementos

arbóreos y la plantación de cafetos es un elemento introducido. Este índice está fuertemente correlacionado con el primer factor del ACP con variables estructurales, lo cual sugiere que es un instrumento válido para explicar la variación de la estructura de fincas y bosques. De este modo, se obtuvo una ordenación sencilla con características cuantitativas, útil para el análisis de los grupos biológicos. Sin embargo, las características cualitativas que distinguen las formas de la estructura, especialmente entre los policultivos y las estructuras rústicas quedaron ocultos, lo cual debe ser considerado en la interpretación de los patrones de diversidad (Figura 2.3, Cuadro 2.5).

Manejo de la plantación de café

El análisis de ordenación con los descriptores del manejo de la plantación de cafetos nos explica un 88.85% de la variación (ACP: Factor 1: 58.71%; Factor 30.14%) y el análisis de agrupamiento nos muestra cinco grupos (a, b, c, d y f; Figura 2.4). Los grupos a y b se encuentran relacionados con un manejo reducido, ya que presentan escasa o nula fertilización y poco manejo de malezas. En los grupos c y d la práctica que mayor se realiza es el control de malezas donde pueden aplicarse fertilizaciones. Finalmente en

los grupos e y f se realiza tanto el control de malezas, como la fertilización y el control de plagas.

El IIB está correlacionado con el primer componente del ACP (Spearman; $r = -0.99$; $t(N-2) = -30.87$; $p < 0.001$) que explica el 58.71% de la variación, lo cual indica que el IIB es un buen instrumento para describir la variación que existe en el manejo de la plantación de café. Al relacionar los grupos obtenidos por el análisis Cluster y los valores del IIB, se observó que los grupos a y b representan valores bajos del IIB, los grupos c y d medios y los grupos e y f valores altos (Figura 2.4, Cuadro 2.6). Por lo tanto, se pueden definir tres categorías de manejo con base en los patrones de agregación de las fincas: Alto, Medio y Bajo. Además también se pueden distinguir sistemas Convencionales donde sólo se utilizan insumos agroquímicos, Alternativos donde se realizan labores manuales, fertilización con abonos naturales y control biológico y los sistemas, Híbridos donde se mezclan prácticas tanto convencionales como alternativas. La categoría de manejo Alto, agrupa a las fincas que incluyen mayormente prácticas de manejo tipo convencional; el manejo Medio incluye a las fincas que mezclan prácticas de tipo convencional y alternativo y la categoría de manejo Bajo, considera las fincas con manejo reducido y principalmente de tipo alternativo.

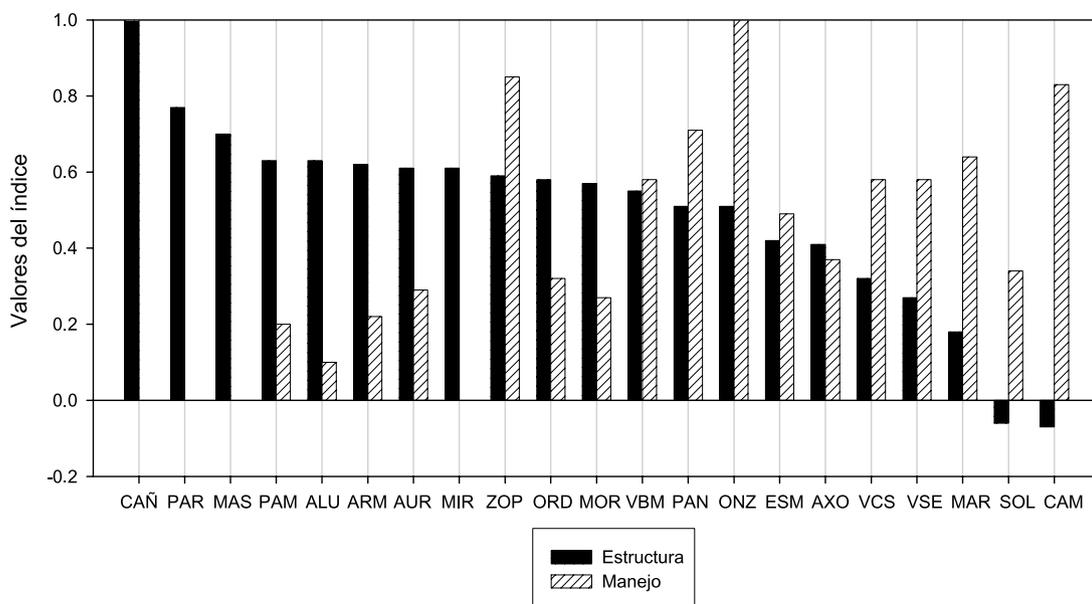


Figura 2.3. Ordenación lineal de las fincas de café y fragmentos de bosque, con base en el Índice de Estructura del cafetal (IEC) y los valores del Índice de Impacto Biológico (IIB) del manejo de la plantación de cafetos.

Cuadro 2.5. Ordenación lineal de las fincas de café y fragmentos de bosque, con base en el Índice de Estructura del Cafetal (IEC) y las categorías estructurales. Se presentan también los valores del Índice de Impacto Biológico (IIB) del manejo de la plantación de cafetos para cada unidad de estudio. Véase el texto para una explicación de cómo se calcularon estos índices.

Finca/Bosque	Estructura del cafetal		Manejo de la plantación	
	IEC	Categoría	IIB	Categoría
CAÑ	1.00	Bosque	0	Nulo
PAR	0.77	Bosque	0	Nulo
MAS	0.70	Bosque	0	Nulo
PAM	0.63	Policultivo diverso	0.2	Bajo alternativo
ALU	0.63	Policultivo diverso	0.1	Bajo alternativo
ARM	0.62	Rustico	0.22	Bajo híbrido
AUR	0.61	Policultivo simple	0.29	Bajo-híbrido
MIR	0.61	Rustico	0	Bajo alternativo *
ZOP	0.59	Rustico	0.85	Alto híbrido
ORD	0.58	Rustico	0.32	Bajo convencional
MOR	0.57	Policultivo simple	0.27	Bajo alternativo *
VBM	0.55	Rustico	0.58	Medio híbrido
PAN	0.51	Policultivo simple	0.71	Alto híbrido
ONZ	0.51	Rustico	1	Alto híbrido
ESM	0.42	Policultivo simple	0.49	Medio híbrido
AXO	0.41	Policultivo simple	0.37	Medio alternativo*
VCS	0.32	Policultivo simple	0.58	Medio híbrido
VSE	0.27	Monocultivo	0.58	Medio híbrido
MAR	0.18	Monocultivo	0.64	Alto convencional
SOL	-0.06	A Sol	0.34	Medio híbrido
CAM	-0.07	A Sol	0.83	Alto híbrido

* Fincas con certificado de producción orgánica.

Características socio-económicas de los productores

La ordenación realizada con los descriptores socioeconómicos (NMDS; Stress = 0.05 en 2D a 10 iteraciones) muestra que hay dos rasgos principales que distinguen a los productores: 1) su nivel socioeconómico, definido por la superficie total de cultivo, el sistema administrativo para la producción, el gasto mensual, el número de empleados fijos por ciclo de cosecha y 2) el tiempo que dedica a la producción de café (Figura 2.5; Cuadro 2.7).

Al analizar los grupos de productores, se observó que el grupo A son pequeños y medianos productores que tienen como actividad principal la producción de café, el grupo B son pequeños y medianos productores que cultivan café como segunda actividad económica y el grupo C reúne a los grandes productores que tienen como actividad económica principal la producción de café.

Con base en el análisis de ordenación y teniendo en cuenta los sistemas de organización social en la región centro de Veracruz, se definieron las siguientes categorías:

- 1) Sistema campesino (mercantil simple). En éste se ubica el subgrupo a1 (AUR y AXO) donde se encuentran los pequeños productores rurales, con ingresos bajos de (\$2,500 a \$5,000 mensuales). Estos presentan un grado escolar sólo de nivel primario. Su ingreso por el cultivo del café representa entre el 90 y el 100%. Su dedicación al cultivo es de tiempo completo; la estructura administrativa se forma por el dueño y en algunos casos empleados eventuales (0-6). La superficie de los cultivos no sobrepasa las 3.75 ha., y la venta de café es en cereza. El productor que aparece aislado (PAM) es muy similar a este subgrupo, sólo que éste dedica

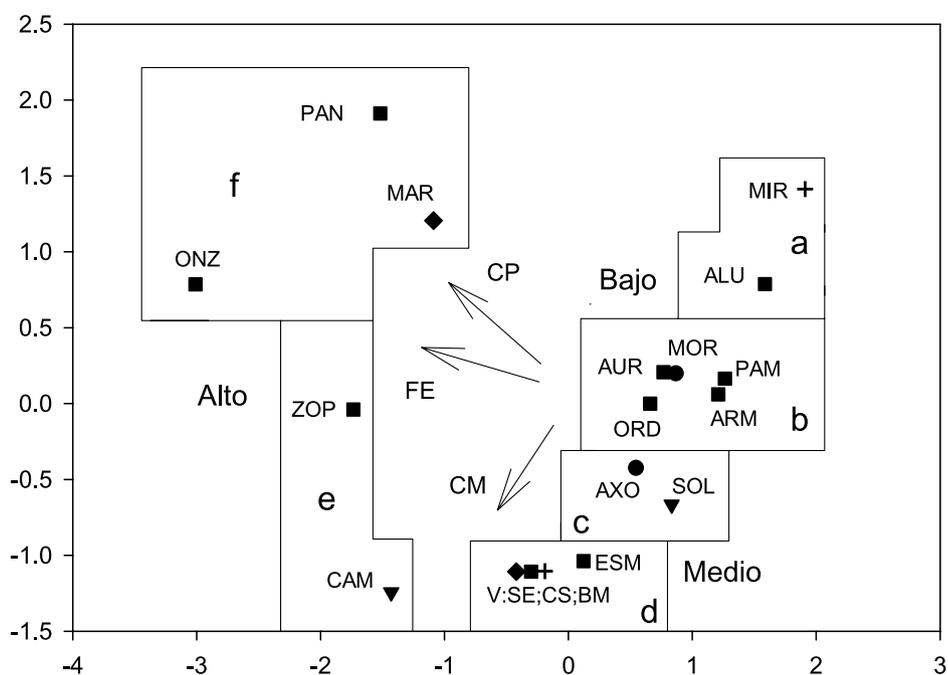


Figura 2.4. Ordenación de las fincas de café mediante un ACP y los descriptores del manejo: CM, control de malezas; CP, control de plagas; FE, fertilización. Los grupos: (a, b, c, d, e, f) fueron definidos mediante un análisis *Cluster*, realizado con los factores generados por el ACP. Los grupos (a, b) presentan valores bajos del IIB; (b, c) medios y (e, f) valores altos. Las figuras corresponden a las categorías de clasificación propuestas por Nolasco (1985) y Moguel y Toledo (1999): fragmento de bosque (▲), rústico (+), policultivo tradicional (■), policultivo comercial (•), monocultivo (◆) y cultivo a sol (▼).

Cuadro 2.6. Categorías de manejo asociadas a los descriptores del manejo de la plantación de café y a valores del IIB; *vrIIB*, valores estandarizados del IIB. Nota: Véase Cuadro 3 para las abreviaturas. Véase el Cuadro 2.2 para el significado de cada variable.

	Categoría de manejo	Finca	FA	FC	FE	MA	MC	CM	PA	PC	CP	IIB	<i>vrIIB</i>
Alto	híbrido	ONZ	1	5	7.25	3	0	4.5	2	0	3	14.75	1.00
	híbrido	ZOP	0	2	2.5	2	2	6.5	0	2	3.5	12.5	0.85
	híbrido	CAM	0	2	2.5	3	2	8	0	1	1.75	12.25	0.83
	híbrido	PAN	0	2	2.5	2	0	3	1	2	5	10.5	0.71
	convencional	MAR	0	2	2.5	0	2	3.5	0	2	3.5	9.5	0.64
Medio	híbrido	VSE	1	1	2.25	3	1	6.25	0	0	0	8.5	0.58
	híbrido	VCS	1	1	2.25	3	1	6.25	0	0	0	8.5	0.58
	híbrido	VBM	1	1	2.25	3	1	6.25	0	0	0	8.5	0.58
	híbrido	ESM	0	1	1.25	4	0	6	0	0	0	7.25	0.49
	alternativo*	AXO	1	0	1	3	0	4.5	0	0	0	5.5	0.37
	híbrido	SOL	0	0	0	1	2	5	0	0	0	5	0.34
	Bajo	convencional	ORD	0	1	1.25	0	2	3.5	0	0	0	4.75
híbrido		AUR	0	1	1.25	2	0	3	0	0	0	4.25	0.29
alternativo*		MOR	1	0	1	2	0	3	0	0	0	4	0.27
híbrido		ARM	0	0	0	1	1	3.25	0	0	0	3.25	0.22
alternativo		PAM	0	0	0	2	0	3	0	0	0	3	0.20
alternativo		ALU	0	0	0	1	0	1.5	0	0	0	1.5	0.10
alternativo*		MIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00

*Fincas con certificado de producción orgánica.

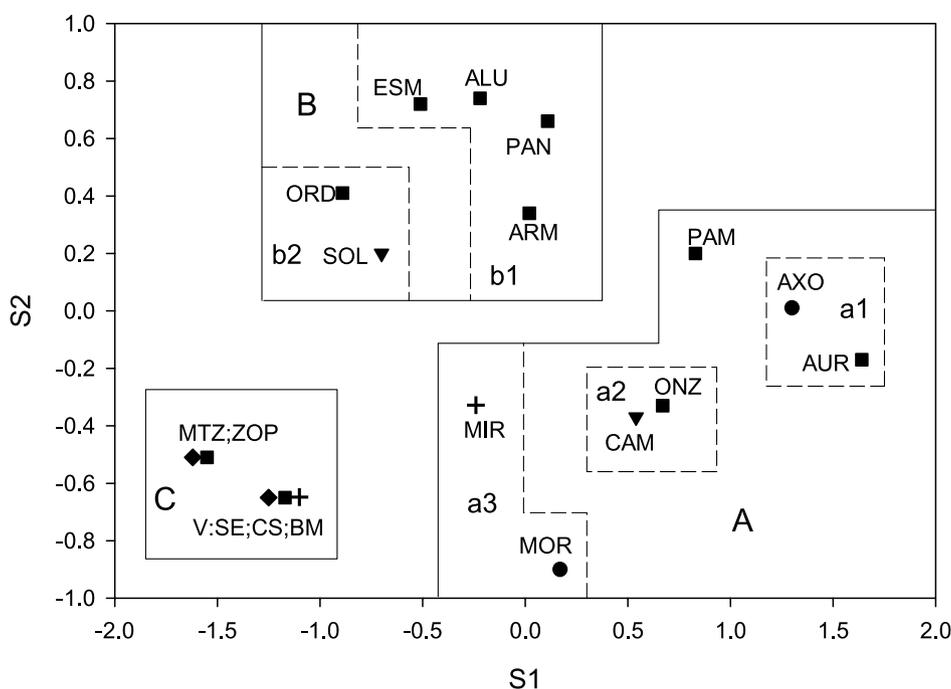


Figura 2.5. Ordenación de los diferentes productores de café mediante un NMDS y sus descriptores socioeconómicos. Los grupos (línea continua) y subgrupos (línea punteada) se trazaron considerando un análisis de agrupamiento, realizado con los factores generados por el NMDS. Las figuras corresponden a las categorías de clasificación propuestas por Nolasco (1985) y Moguel y Toledo (1999): fragmento de bosque (▲), rústico (+), policultivo tradicional (■), policultivo comercial (•), monocultivo (◆) y cultivo a sol (▼).

medio tiempo a la producción y su ingreso por café sólo representa el 60%.

- 2) Sistema de agricultura mercantilista. Ésta considera a los productores del subgrupo b1 (ALU, PAN y ARM) con ingresos medios a altos (de \$10,000 a más de \$17,000 al mes). Su grado escolar va de preparatoria a nivel posgrado. El ingreso por café es bajo (0-20%) y complementario a otras actividades económicas agrarias y no

agrarias. La estructura administrativa es variada, y puede estar formada sólo por el dueño con pocos empleados fijos (1-5) o eventuales (1-15), o bien con sistemas administrativos complejos, formados por el dueño, con más empleados fijos (6-7) y eventuales (40-60). La superficie total de sus cultivos va de 4 a 26 ha. La producción sólo es en cereza, y puede ser vendida a algún acaparador o se puede pagar para que sea beneficiada.

- 3) Sistema de agricultura empresarial. Representa a los grandes productores que tienen predios de 60 a 180 ha, o productores que por iniciativa personal o mediante asociaciones productivas han logrado integrar las cadenas productivas con maquinaria propia, vendiendo café oro o tostado y molido. Los grandes productores con predios de 60 a 180 ha son SOL, CAM, ORD, MIR, cuyos ingresos son medios a altos (de \$10,000 a \$17,000 al mes), con una escolaridad de nivel licenciatura, y sistemas administrativos complejo con empleados tanto eventuales como fijos, encargados de campo y administradores. El tiempo

Cuadro 2.7. Correlaciones significativas ($\alpha = 0.5/18 = 0.0002$) entre los descriptores socioeconómicos y los factores producidos por la ordenación NMDS. **F1 y F2:** factores producidos por el NMDS. Las abreviaturas de las demás variables se encuentran en el Cuadro 2.3.

	N	Spearman	t (N - 2)	P<
F1 & GM	15	-0.882803	-6.77600	0.000013
F1 & AP	15	-0.871127	-6.39618	0.000024
F1 & EF	15	-0.865238	-6.22238	0.000031
F1 & HT	15	-0.807864	-4.94224	0.000269
F2 & TP	15	-0.851297	-5.84998	0.000057

dedicado al cultivo, así como el porcentaje de su ingreso puede ser variable. La producción puede ser vendida en cereza o se paga para que sea beneficiado. El productor MIR además cuenta con certificación orgánica y proyecto ecoturístico. En el caso de los productores ESM, MOR, ONZ el tamaño de las fincas, el grado escolar y el sistema administrativo son muy variables. Sin embargo, los tres casos integran toda la cadena productiva y venden su producción tostada y molida con marca propia. ESM se trata de un mediano productor (26 ha) empresario, donde la producción es un complemento de sus actividades económicas. ONZ es un productor de tiempo completo que cuenta con una marca reconocida a nivel regional y por último MOR se trata de una empresa familiar de origen campesino, vinculada a una organización de productores orgánicos.

- 4) Sistema agroindustrial. El grupo C de productores MAR, ZOP, VSE, VCS y VBM se caracterizan por tener ingresos muy altos (más de \$17,000 al mes), con escolaridad de licenciatura o posgrado, y una administración compleja, formada por el dueño, administrador, encargado de finca, empleados fijos (50-70) y empleados temporales (30-50). Tienen grandes extensiones de cultivos (300-400 has) y se dedican de tiempo completo a la producción de café. Los ingresos de estos productores no dependen del cultivo del café (sólo 5-10%), pero cuentan con instalaciones propias para la industrialización del grano y la venta de la producción se realiza mediante la exportación y la venta nacional.

Relaciones entre la estructura del cafetal, manejo de la plantación de café y aspectos socio-económicos de los productores

Se analizaron las relaciones existentes entre la estructura, las labores del manejo y los descriptores socioeconómicos de los productores. No se encontró correlación entre el índice de la estructura del cafetal y el índice de impacto biológico del manejo (Pearson; $r = -0.36$; $t = -1.59$; $p < 0.13$). Al correlacionar los dos primeros factores de cada ordenación, se observó que sólo la estructura (Factor 2) de las fincas está correlacionada con las características socioeconómicas de los productores (Factor 1; Pearson; $n = 18$; $r = 0.65$; $t = 3.70$; $p < 0.0019$; $\alpha = 0.5/36 = 0.001$). Esta

tendencia de relaciones sugiere que las fincas con alta densidad de siembra, baja densidad de árboles, baja riqueza y diversidad de especies, están vinculadas a plantaciones con amplias extensiones que mantienen gran cantidad de empleos fijos y eventuales y sistemas administrativos complejos.

Se exploraron las correlaciones entre las variables de cada conjunto de descriptores y se encontró que la disminución de la riqueza (RI), diversidad de especies (Hh) y la densidad de árboles (DA), se encuentran relacionadas con un mayor control de malezas (CM), principalmente con herbicidas (MC). Las plantaciones con mayor densidad de cafetos (DC), requieren mayor control de malezas (CM). Las fincas de mayor extensión (HT), con mayor número de empleados fijos (EF) y administraciones complejas (AP), son las que requieren un mayor control de malezas (CM), principalmente usando herbicidas (MC; Cuadro 2.8).

En el conjunto de fincas estudiadas, el manejo no está correlacionado con la estructura, lo cual es importante porque se rompe el paradigma que plantea una covariación entre estos aspectos (Moguel y Toledo 1999). Esto es de gran importancia, ya que en los trabajos ecológicos, el manejo no ha sido considerado como un efecto importante en la evaluación de los patrones de biodiversidad. Sin embargo, al realizar un análisis preliminar de las variables, se observan algunas tendencias generales que coinciden con la clasificación de Nolasco (1985) y Moguel y Toledo (1996, 1999); donde la intensificación del cultivo está vinculada a estructuras simplificadas, prácticas de manejo tecnifi-

Cuadro 2.8. Correlaciones significativas entre los descriptores de la estructura del cafetal, el manejo de la plantación y socioeconomía del productor. Ver abreviaturas en la sección de Materiales y Métodos del texto.

Variables	N	Spearman	t(N - 2)	P<
MC & RI	18	-0.786174	-5.08845	0.000110
MC & HT	18	0.762313	4.71140	0.000235
CM & RI	18	-0.749632	-4.53050	0.000341
CM & DC	18	0.739880	4.39921	0.000448
MC & DA	18	-0.649155	-3.41366	0.003556
MC & EF	18	0.633502	3.27501	0.004764
MC & AP	18	0.630622	3.25025	0.005018
CM & Hh	18	-0.625735	-3.20875	0.005476

cadras de modo convencional y a grandes productores con alto nivel socioeconómico. Lo cual corrobora que dicha clasificación es una aproximación que ilustra las relaciones generales de los sistemas de cultivo, pero no debe ser utilizada para explicar los patrones de variación en la biodiversidad a nivel puntual y regional, por lo cual debe ser considerada con mesura.

Clasificación de las unidades de estudio

Al inicio utilizamos la clasificación de Nolasco (1985) y Moguel y Toledo (1999) para caracterizar nuestras unidades de estudio, sin embargo, no funcionó porque las categorías de la estructura no describían bien la variabilidad de las fincas, después observamos que el manejo no estaba correlacionado con la estructura y que en nuestra región de estudio, las estructuras más complejas como las rústicas se encontraban asociadas a productores con sistemas empresariales y agroindustriales; por tal razón propusimos un sistema de clasificación basándonos en los antecedentes previos pero incluyendo un método para describir la estructura, el manejo de la plantación de cafetos y el *status* socioeconómico de los productores (Cuadro 2.9):

- 1) La Estructura del cafetal puede ser caracterizada por las categoría y su definición propuesta en nuestro análisis: a) Rústico, b) Policultivo diverso, c) Policultivo simple, c) Monocultivo y e) a Sol. Considerando las seis variables que mejor describen la variabilidad de la estructura y en consenso con otros trabajos similares al nuestro (Mass y Dietsch 2003), los parámetros básicos sugeridos para describir la estructura de un cafetal son: riqueza de especies del dosel, altura promedio, cobertura y un valor que señale la estratificación del dosel. Además, se debe considerar de manera importante, el incluir un valor de referencia de la presencia de epífitas, ya que en este trabajo fue de gran importancia, así como la densidad y altura promedio de los cafetos como indicadores de la estructura del “sotobosque”.
- 2) El Manejo de la plantación de cafetos puede ser descrito como Alto, Medio o Bajo, según el IIB y Convencional, Alternativo e Híbrido, según la naturaleza tecnológica. Se deben de considerar la frecuencia y el posible impacto biológico de las tres prácticas principales: Fertilización, Control de Malezas y Control de Plagas.

Cuadro 2.9. Clasificación agroecológica de fincas de café de la región centro del estado de Veracruz.

Estructura del cafetal	Manejo de la plantación de café	Tipo de productor	Sitio de estudio
Rústico	Bajo alternativo*	Empresarial	MIR
	Bajo híbrido	Mercantil	ARM
	Medio híbrido	Agroindustrial	VBM
	Medio convencional	Empresarial	ORD
	Alto híbrido	Agroindustrial	ZOP
Policultivo diverso	Bajo alternativo	Empresarial	ONZ
		Campeño	PAM
		Mercantil	ALU
Policultivo simple	Bajo alternativo*	Empresarial	MOR
	Bajo híbrido	Campeño	AUR
	Medio alternativo*	Campeño	AXO
	Medio híbrido	Empresarial	ESM
	Alto híbrido	Agroindustrial	VCS
Monocultivo	Alto híbrido	Mercantil	PAN
	Medio híbrido	Agroindustrial	VSE
A sol	Alto convencional	Agroindustrial	MAR
	Medio híbrido	Empresarial	SOL
	Alto híbrido	Empresarial	CAM

*Fincas con certificado de producción orgánica.

- 3) El *status* socioeconómico de los productores se puede caracterizar como Campesino, Mercantil, Empresarial, o Agroindustrial. En esta clasificación hay que tomar en cuenta por lo menos la superficie total de cultivo del productor, el sistema administrativo para la producción, el gasto mensual del productor para mantener su nivel de vida, el número de empleados fijos y eventuales por ciclo de cosecha, y el tiempo que se dedica a la producción de café.

Al analizar la clasificación de las fincas, se puede decir que en la muestra de estudio, las estructuras con dosel rústico pertenecen a productores que no son de extracción campesina, donde la finalidad de mantener el dosel es para darle sombra a la plantación de café y no para obtener productos secundarios que se utilicen para comercio o bien para su consumo. El manejo de la plantación de café con dosel rústico es variado, ya que puede ser a escala baja como en una producción orgánica, media para mantener una producción constante en el tiempo o alta para obtener un máximo rendimiento de la plantación —todo esto cuidando la calidad del café, dada por variedades que requieren de mayor sombra.

Los policultivos se encuentran principalmente asociados con productores rurales que manejan el dosel para la obtención de bienes de consumo y comercio en baja y media escala. También se asocia con los productores para quienes el café no es una actividad económica principal, pero que además de obtener el aromático, utilizan las fincas como huertas o jardines, logrando así estructuras de dosel no muy complejas, pero ricas en especies. Dentro de los policultivos también se observa un gradiente de simplificación estructural conforme crece el interés por aumentar la producción de café. El manejo en los policultivos es primordialmente de bajo a medio, debido a las precarias condiciones socioeconómicas del productor que le impiden una mayor inversión, además de que no existe un interés primordial por la producción, o bien a que este tipo de cultivos brinda condiciones microclimáticas generosas para la plantación de café, que sin gran esfuerzo en el manejo, se puede obtener una producción modesta. El manejo en la plantación puede ser alto si se incrementa el interés por elevar la producción de la plantación.

Las estructuras simplificadas como los monocultivos a sombra y las plantaciones a pleno sol, les pertene-

cen a productores de un nivel socioeconómico alto, con obvio interés por lograr el máximo rendimiento de la producción. Estos son sistemas que funcionan mediante un estrés sobre los cafetos, lo que hace que eleven su producción de frutos, cuyo desgaste fisiológico es compensado con agroquímicos. Sin embargo, se encontró que en algunos casos el manejo es a escala media, debido a que las condiciones de mercado no han permitido realizar la inversión necesaria en las labores del manejo, lo cual puede producir daños considerables en las plantaciones con decaimiento sustancial de la producción.

RECOMENDACIONES

Crisis productiva: peligro y oportunidad

En México aún prevalece el cultivo de café bajo sombra poliespecífica, situación contrastante con otros países de la región, que han favorecido los cultivos de café tecnificados con escasa sombra o a pleno sol (Rice y Ward 1996, Moguel y Toledo 1999). De este modo se han mantenido plantaciones de café, con estructuras complejas como las rústicas y los policultivos. Esto es un reflejo del uso múltiple de los recursos por parte del sector campesino e indígena, donde se desarrolla principalmente la cafeticultura en nuestro país (Toledo 1995, Potvin *et al.* 2005, Eakin *et al.* 2006). Este “retraso” tecnológico ofrece una verdadera posibilidad de cambio hacia la consolidación de sistemas productivos sustentables, como lo es la alta producción de café orgánico, donde México es reconocido como un líder mundial. Sin embargo, la producción orgánica proviene principalmente de dos estados (Chiapas y Oaxaca) de los 12 productores de café en México. Asimismo, se puede decir que con una representación de <1% de la producción nacional, el café orgánico es sólo una forma de producción-mercado que se aproxima a la sustentabilidad, por lo cual aún queda pendiente mucho trabajo por hacer.

Las formas productivas sustentables pueden incluir otros tipos de certificación como el comercio justo, el “amigable” con el medio ambiente, así como el mejoramiento de la calidad del producto, diversificación de los cultivos (incluyendo la producción-mercadeo de servicios ambientales) y la apropiación de eslabones en la cadena productiva. En el diseño de estas nuevas formas de producción, se deberán considerar algunos retos como: la alta fragmentación de los cultivos en pequeñas propiedades pertenecientes a un gran número

de productores y el esfuerzo para formar organizaciones eficientes de productores; las fuertes fluctuaciones del mercado convencional, la eventual saturación de los mercados “de nicho” como el orgánico, el gran número de intermediarios en las cadenas productivas, la falta de apoyo gubernamental a la producción diferenciada y el estímulo y/o presión hacia la producción tecnificada bajo el paradigma convencional, la falta de créditos accesibles (Perfecto *et al.* 2006, Rice 2001). En el diseño de las formas productivas que se aproximen a la sustentabilidad podemos considerar el análisis de tres aspectos: los derivados de la estructura del cultivo, los del manejo y los socioeconómicos.

Estructura del cafetal: producción de café y conservación del agroecosistema

En cuanto a la estructura del cafetal, debemos tratar de entender cómo las formas estructurales encontradas en este trabajo, como las fincas rústicas y los policultivos principalmente, contribuyen a la conservación y funcionamiento de los ecosistemas, lo cual será tratado ampliamente en los capítulos siguientes. Una mejor comprensión de esta relación sistema productivo-conservación de la biodiversidad, nos lleva hacia el análisis de dos estrategias para la protección de los recursos naturales bajo esquemas de pago por servicios ambientales: los esquemas de certificación de la producción “amigable” con el ambiente y el mercado de servicios ambientales. Ambos mecanismos contemplan un pago a los productores, con el cual se fomenta la conservación de los recursos naturales. En las fincas estudiadas, tres de ellas (MIR: Rústico-Bajo, Alternativo-Empresarial; MOR: Policultivo Simple-Bajo, Alternativo-Empresarial y AXO: Policultivo-Simple Medio, Alternativo-Campesino; Cuadro 2.9) se encuentran certificadas bajo un sello orgánico. Encontrar que policultivos simples lograron cumplir con los requisitos mínimos para su certificación, habla de un gran potencial para la inclusión de fincas de café de la región a este tipo de esquemas de certificación, lo cual será explorado en próximos estudios. Por otra parte, el pago por servicios ambientales a nivel local y regional se encuentra en desarrollo, por el momento los cultivos de café sólo se encuentran incluidos en la categoría de “mejoramiento de sombra” del programa de fomento al mercado de los servicios ambientales (PSA-CABSA, 2004), donde el capital ofertado es aún insuficiente para cubrir la demanda de los productores

y los criterios para la inclusión de fincas en estos esquemas aún no están consolidados. En este último punto, los resultados de este libro pueden, mediante una revaloración de la relación entre los sistemas productivos y su aporte a la conservación biológica, mejorar los fundamentos ecológicos bajo los cuales están diseñados los mecanismos de certificación para el mercado de servicios ambientales, fomentando así su consolidación como estrategias para la conservación biológica, mejorando simultáneamente la condición económica de los productores.

Manejo de la plantación de cafetos

Por principio debe reconocerse que el manejo agronómico de la plantación de café no es una parte fuerte de este estudio. Pese a esa limitación, se logró reconocer la diferenciación entre la naturaleza tecnológica de las prácticas agronómicas entre lo convencional y lo alternativo y proponer una direccionalidad relacionada con sus posibles efectos en la conservación biológica. Fue interesante observar cómo las plantaciones bajo sombra, incluso las de tipo rústico, pueden ser altamente manejadas para obtener el máximo de rendimiento productivo, considerando la calidad del producto; y cómo algunos policultivos son altamente intensivos en su producción diversificada. También se pudo observar, cómo los sistemas intensificados convencionalmente, son altamente demandantes de mano de obra e insumos agroquímicos y que la falta de alguna de estas condiciones, principalmente en tiempos de crisis, induce su colapso (Eakin *et al.* 2006); y que los cultivos bajo sombra aún sin manejo pueden seguir en producción, claro que no en óptimas condiciones para ninguno de los casos. Como apreciación general, se observó la falta de manejo integral para la mayoría de las fincas debido a la fuerte descapitalización de los productores de toda condición socioeconómica. El manejo es una consecuencia de los fines productivos que se persiguen, en cuanto a rendimiento y calidad, lo cual, la mayoría de los productores campesinos no tienen claro, porque aún venden su producto en cereza a bajo precio. Es necesario el planteamiento de un manejo “inteligente” en las fincas cafetaleras, que responda a los requerimientos de calidad e inocuidad que demanda el mercado competitivo. Es fundamental partir del análisis de suelo (véase el Capítulo 15) y la nutrición de la plantas (lo que es una práctica inusual en el campo) como condición base, muchas veces la escasa

inversión que realizan los productores y el gobierno (mediante apoyos) es completamente desaprovechada en elementos innecesarios para el cultivo; por otra parte, la sanidad vegetal se encuentra prácticamente en el abandono. Con base en estas observaciones, es posible mediante un enfoque agroecológico alcanzar un manejo donde se optimice el rendimiento, la calidad y la inocuidad alimentaria. Sin embargo, su implementación no es posible o es poco viable, sin una estrategia productiva integral desde la producción hasta la comercialización (Waridel 2001).

Productores y estrategias productivas

Tanto la incorporación de las fincas a los esquemas de certificación de la producción y pago por servicios ambientales, como el mejoramiento del manejo de la plantación, son elementos de estrategias productivas integrales, que comprenden desde la producción en el campo hasta la comercialización del producto terminado. La integración de las cadenas productivas se realiza mediante acciones de productores organizados, principalmente campesinos, o bien de medianos y grandes productores, en esfuerzos personales. El reconocimiento de las características culturales de la amplia gama de productores, permitirá desarrollar políticas de desarrollo honestas y acordes con los diferentes sectores: industrial, medianos productores, campesinos y los productores que mantienen la cafeticultura como actividad económica secundaria; ya que todos los sectores sociales contribuyen al cultivo del café, a la conservación de los recursos naturales y a la economía de la región. Una característica observada durante el transcurso de este estudio, principalmente en el sector campesino, es la falta de organización de los productores, porque se percibió una marcada actitud individualista de la producción, con desconfianza en el trabajo grupal. Finalmente, cabe señalar que la organización social es un factor vital para capitalizar la riqueza natural y la excelente calidad productiva del cultivo del café en la región.

AGRADECIMIENTOS

Mi profundo agradecimiento a todos los productores, administradores y trabajadores de todos los sitios de estudio por brindarme su valioso tiempo, conocimiento, apoyo y amistad. A Robert Manson y Armando Contreras H., por guiar este trabajo, por su amable y

constante apoyo, mil gracias. Al Instituto de Ecología A. C. y a todo el personal que sustenta la infraestructura de esta investigación y a la SEMARNAT y al CONACyT por financiar este proyecto y mi beca. A Lorena Soto-Pinto y Steve Gliessman por la revisión de este capítulo y a Magda Cruz R. y a Georgina Trigos y Domínguez por la revisión final del manuscrito. Los datos reportados en este capítulo son parte de una tesis doctoral del posgrado del Instituto de Ecología, A.C.

REFERENCIAS

- Altieri MA. 1991. How Best Can We Use Biodiversity in Agroecosystems. *Outlook on Agriculture* 20(1):15-23.
- Bandeira FP, Martorell C, Meave JA, Caballero J. 2005. The role of rustic coffee plantations in the conservation of wild tree diversity in the Chinantec region of Mexico. *Biodiversity and Conservation* 14:1225-1240.
- Brundtland, GH. 1987. *Our Common Future. World Commission on Environment and Development*. Oxford. 400 p
- Córdova S. 2005. *Café y sociedad en Huatusco, Veracruz: formación de la cultura cafetalera (1870-1930)*. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, 451 p.
- Dietsch TV, Philpott SM, Rice RA, Greenberg R y Bichier P. 2004. Conservation policy in coffee landscapes. *Science* 303:625-626.
- Eakin E, Tucker C, Castellanos E. 2006. Responding to the coffee crisis: a pilot study of farmers' adaptations in Mexico, Guatemala and Honduras. *The Geographical Journal* 172(2):156-171.
- Ferrer A. 2003. Intoxicación por plaguicidas. *Anales Sis. San Navarra* 26:155-171.
- Gabriel MJ. 2003. *Tipología socioeconómica de las actividades agrícolas*. Instituto Nacional de Ecología. México D.F. 51 p.
- Gliessman SR. 2002. *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba, C.R. CATIE. 359 p.
- Guadarrama-Zugasti C. 2000. *The transformation of coffee farming in Central Veracruz, México: sustainable strategies?* A dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Environmental Studies. University of California, Santa Cruz. 187 p.
- Leon J. 1962. *Especies y Cultivares (variedades) de café*. Materiales de Enseñanza de Café y Cacao No. 23. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 69 p.
- Mass AH, y Dietsch TV. 2003. An index of management intensity for coffee agroecosystems to evaluate butterfly species richness. *Ecological Applications* 13:1491-1501.
- Moguel P, Toledo VM. 1996. El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Ciencias* 43:40-52.

- _____. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of México. *Conservation Biology* 1:11-21.
- Nestel D. 1995. Coffee in Mexico: international market, agricultural landscape and ecology. *Ecological Economics* 15:165-178.
- Nolasco M. 1985. *Café y Sociedad en México*. Centro de Eco-desarrollo. México D.F. 454 p.
- O'Brien TG, Kinnaird, MF. 2003. Caffeine and conservation. *Science* 300:587.
- O'Brien TG, Kinnaird, MF. 2004. Conservation policy in coffee landscapes—response. *Science* 303:625–626.
- PSA-CABSA. 2004. Diario Oficial de la Federación. 24 de Noviembre. Segunda sección. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Perfecto I, Rice RA, Greenberg R, Van der Voort ME. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *Bioscience* 46:598–608.
- Philpott SM, Dietsch T. 2003. Coffee and conservation: a global context and the value of farmer involvement. *Conservation Biology* 17:1844-1846.
- Potvin C, Owen CT, Melzi S, and Beaucage P. 2005. Biodiversity and modernization in four coffee-producing villages of Mexico. *Ecology and Society* 10(1):18. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art18/>
- Porras TCJ, Martínez AR y Fernández RA. 1997. Sistemas agrarios tradicionales de dehesa en las comarcas de la sierra y los andevalos de la provincia de Huelva. Dirección General de Investigación y Formación Agraria. Sevilla, España. 220 p.
- Rappole JH, King DI, Vega JH. 2003a. Coffee and conservation. *Conservation Biology* 17:334-336.
- Rappole JH, King DI, Vega JH. 2003b. Coffee and conservation III: reply to Philpott and Dietsch. *Conservation Biology* 17:1847-1849.
- Rice RA, Ward JR. 1996. *Coffee, conservation, and commerce in the western hemisphere*. Smithsonian Migratory Bird Center, Natural Resources Defense Council. Washington, D.C. 47 p.
- Shirley RL. Nutritional and Physiological Effects of Nitrate, Nitrite, and Nitrosamines. *Bioscience* 25(1975):791.
- Rice RA. 2001. Noble goals and challenging terrain: organic and fair trade coffee movements in the global marketplace. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 14:36-66.
- Soto-Pinto L, Villalvazo-López V, Jiménez-Ferrer G, Ramírez-Marcial N, Montoya G, Sinclair FL. 2007. The role of local knowledge in determining shade composition of multistrata coffee systems in Chiapas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 16:419-436.
- Toledo VM, Carabias J, Toledo C, González-Pacheco C. 1989. *La producción rural en México: alternativas ecológicas*. Fundación Universo Veintiuno, A. C. México D. F. 392 p.
- Toledo VM. 1995. *Campesinidad, Agroindustrialidad, Sostenibilidad: Los fundamentos ecológicos e históricos del desarrollo rural*. Centro de Ecología UNAM. Morelia, Michoacán, México. 29 p.
- Vandermeer J. 1995. The ecological basis of alternative agriculture. *Annual Review of Ecology and Systematics* 26:201-224.
- Waridel L. 2001. *Un café por la causa: hacia un comercio justo*. Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte. DF. 95 p.

Retos en la organización de un proyecto de investigación-acción

ARMANDO CONTRERAS HERNÁNDEZ

Resumen

En este capítulo se presentan varios antecedentes que representan retos importantes en la organización del proyecto Biocafé incluyendo la conceptualización de la relación entre naturaleza y cultura como un *continuum* que permite entender el acceso a la tierra y las formas de producción. Se parte del concepto de economía campesina para explicar el papel de la producción tradicional del café y la producción industrial como expresión avanzada del capitalismo. La región se caracteriza como la arena de conflictos entre colectivos sociales que compiten por el control de espacios geográficos, aprovechamiento de recursos naturales, eslabones de la producción y poder local; todo ello enmarcado en los procesos de globalización. En la organización y diseño del proyecto Biocafé se consideraron todos estos conceptos englobados en la heterogeneidad de la zona cafetalera de Coatepec y Huatusco. Se diseñó el proyecto como un estudio de largo plazo que nos permitirá comprender el impacto que tuvo la introducción del café y su influencia en la biodiversidad local. Además, se consideró el contexto socio-económico en la organización social y vinculación del proyecto con los productores (2003-2006). En particular, se describe la integración de un grupo operativo de aprendizaje (productores, académicos y funcionarios públicos) necesario para divulgar los resultados de los inventarios de especies en los cafetales y entender las decisiones de los productores basados en los riesgos de la producción y el interés en la conservación de la biodiversidad. Se muestran los resultados del diálogo entre productores de café que ocupan diferentes espacios sociales en la región, con sus propuestas de trabajo y sus vínculos al colaborar en el estudio de la biodiversidad de los cafetales. Finalmente se hace una síntesis de las enseñanzas de Biocafé como proyecto de investigación-acción que se requiere de manera urgente en México.

Abstract

This chapter starts by presenting concepts considered key in the organization of the Biocafé project including viewing the relationship between nature and culture as a *continuum* that facilitates understanding of human connections to land and different forms of production. Using the concept peasant economics we explain the role of traditional coffee production, as well as industrial coffee production as an advanced expression of capitalism. The region is characterized as the focal point of conflict between different social collectives competing for the control of land, the use of natural resources, and links to production and local power –all of which form the part of the processes of globalization. In the organization and design of the Biocafé project all of these issues were considered part of the heterogeneity characterizing coffee farms in the Coatepec-Huatusco region. The study was designed to be a long term study of the impacts of changes in coffee production on regional biodiversity pools. Consideration of the socio-economic context of these coffee farms was also considered key in interpreting the results of this study and for creating links

with coffee growers during a three year period (2003-2006). This chapter describes efforts to integrate an operational learning community (composed of coffee growers, academics, and public officials) that was important for transferring the knowledge generated by the projects taxonomic surveys, as well as understanding the decisions made by coffee growers as considering the risks of production and an interest in biodiversity conservation. Particular emphasis is placed on the communication required to create a dialogue between coffee producers occupying different socio-economic levels in the region, each with their own labor issues and interests in forming collaborative associations with the research project. Linked to this effort is the analysis of the outcomes from the relationships forged between ecologists and producers for the purpose of studying biodiversity in coffee farms. Finally we present a synthesis of the lessons learned from the Biocafé project as a research-action project, more of which are urgently needed in Mexico.

INTRODUCCIÓN

Conceptos básicos

En la organización del proyecto Biocafé partimos del supuesto de que para entender el agroecosistema cafetalero en el centro del estado de Veracruz y su papel en la conservación de la biodiversidad, es necesario considerar las bases conceptuales de las relaciones seres humanos y naturaleza, así como entre campesinado y propiedad de la tierra. Estos conceptos nos darán el vocabulario necesario para relacionar diferentes ejes de la organización social, determinar su funcionamiento en la estructura económica, y finalmente evaluar su impacto en la estructura biofísica y la conservación que permitan generar alternativas sustentables de manejo que sean viables y aceptadas por el sector agrícola.

Es frecuente encontrar en la literatura una dicotomía en los términos doméstico o silvestre, natural o transformado, productivo o improductivo, tradicional o moderno, que quieren imponer un esquema en compartimentos separados, desde el antiguo alejamiento naturaleza o sociedad, no existe la naturaleza en su esencia como tampoco la cultura en el otro extremo (Simpson 1999, Rist 2002). Hoy en día el impacto de los seres humanos sobre la Tierra (Vitousek *et al.* 1997) hace casi imposible realizar estudios de la biodiversidad en sitios bien conservados y alejados del contacto humano. Sin embargo, tampoco nos estamos acercando mucho a la visión de las culturas orientales o indígenas americanas donde no hay separación entre “lo natural” y “lo humano”, y existe un mundo de lo sagrado habitado por espíritus que desde ahí regulan y ordenan el mundo (Dwyer 1996, López-Austín 1999). La relación naturaleza y cultura la entendemos como un *continuum* que permite el acceso a la tierra y a las formas de producción. El *continuum* no quiere decir

una unilinearidad o una trayectoria temporal (Dwyer 1996) porque los bosques a veces son menos usados en un tiempo, y en otro momento estar intensamente aprovechados. Pero igualmente, estos términos reflejan la idea de que los extremos estuvieran más o menos socializados (Morin y Brigitte 1993, Foladori 2001, Lazos 2005). La distribución espacial de bosques y el grado de su transformación son tanto el resultado de las condiciones físico-biológicas como de los patrones culturales locales (Schmithüsen *et al.* 1998). Esta distribución refleja reglas sociales, opciones económicas y decisiones políticas. Los conceptos de naturaleza y cultura se desarrollan juntos, es decir “coevolucionan” (Dove 1992, Norgaard 1994), y las fronteras se desdibujan llegando a la imposibilidad de la distinción, en nuestro caso, ¿los cafetos ubicados en zonas de bosque mesófilo de montaña (BMM) invalidan la diversidad biológica del bosque? En este marco de discusión, los espacios naturales y productivos de café son considerados fenómenos fuertemente embebidos en la cultura de los grupos sociales.

En el ámbito nacional de México, la producción de café tiene dos referentes en continua interacción (campesinos y agroindustriales) que inciden en la organización social local y el uso de los recursos naturales. Por eso, tomaremos como punto de partida la economía campesina (Chayanov 1985) que permite ubicar la relación de tres conceptos claves en el manejo de los recursos naturales del país. *La economía* representa la interacción humana en la producción, la distribución y el consumo de bienes materiales y servicios y, asimismo, una amplia variedad de cuestiones asociadas de dominación tecnológica, diferenciación social y políticas gubernamentales. El tratamiento de *la estructura social* amplía aún más el espectro al relacionar la economía con un sistema social global adjudicándole

una dimensión histórica general (Shanin 1974). El enfoque sobre *el campesinado* como el modo de producción más antiguo en la historia (Galeski 1974). Entendemos al campesinado como una entidad social con cuatro facetas esenciales e interrelacionadas; a) la explotación agrícola familiar, como unidad básica multifuncional de organización social, b) la labranza de la tierra y la cría de ganado como el principal medio de vida, c) una cultura tradicional específica íntimamente ligada a la forma de vida de pequeñas comunidades rurales, y d) la subordinación a la dirección de poderosos agentes externos. Así, la tipología analítica puede utilizarse como pauta para definir al campesinado como un proceso, como una entidad histórica dentro del marco más amplio de la sociedad aunque con estructura, consistencia y momentos propios (Shanin 1974).

En el pasado, durante la colonia española los conquistadores fueron los promotores de la incorporación de cultivos exóticos como el café y en el presente aún existen familias de hacendados que impulsan desde la agroindustria al aromático. Para entender el desarrollo del cultivo se requiere visualizar también otros aspectos como la lucha por la tierra, elemento fundamental para los pobladores de la región centro de Veracruz. En el siglo XVI, durante la colonia española, los pobladores de este lugar recibieron el derecho por parte del gobierno colonial a poseer, como pueblos indígenas, pequeñas extensiones territoriales, posteriormente fueron despojados de esas tierras e iniciaron innumerables luchas por recuperar su territorio. Poco se sabe de la historia agraria regional, será en la segunda década del siglo XX cuando se susciten los alzamientos del movimiento revolucionario que con la reforma agraria recibiera una gran mayoría de los pobladores dotaciones de tierra. En el presente trabajo consideramos el concepto de sistema de plantación de Wolf y Mintz (1975) para entender el cultivo de café, caña y tabaco. Este concepto permite analizar formas específicas de la expansión del capitalismo en la agricultura de los países colonizados, a través de la organización productiva de gran escala. Otro concepto necesario para explicar las formas de producción del café moderno en México es el ejido, entendido como una forma de tenencia de la tierra basada tanto en las áreas geográficas indígenas mesoamericanas, como en aquellos sistemas del sur de Europa en el siglo XV (Mendieta 1986). El término de unidad doméstica designa una unidad territorial, de tamaño variable, creada con las leyes formuladas durante la revolución mexicana. Idealmente las tierras

ejidales deben ser susceptibles de ser cultivadas. El ejido puede caracterizarse por una diversidad de tipos de relaciones de producción (Nugent y Alonso 1994) cit. post. Núñez (2005). El uso de la tierra en cultivos comerciales dio lugar a la emergencia en la región de una cultura campesina asociada a estos sistemas de plantación.

Para los antiguos totonacos la incorporación del café a la unidad doméstica tuvo un significado y para los caciques extranjeros en sus haciendas del centro de Veracruz otro; sin embargo, ambos actores sociales se encuentran subordinados a las reglas del mercado capitalista, en donde la venta de granos de café marca cánones de transferencia de riqueza en fuerza de trabajo, materia prima y dinero (Contreras y Hernández 2005, Córdova 2005, Núñez 2005). En el ámbito regional, los ejidatarios se transformaron en productores de café, dejaron la producción de alimentos básicos de autoconsumo para cultivar un producto comercial, lo cual influyó de manera determinante en las formas de organización de las actividades agrícolas, en los modos de vida de los pobladores rurales, en la diferenciación social y en los procesos políticos regionales (Núñez 2005). Los caciques se transformaron en los grandes finqueros de café que fueron un instrumento de mediación en el acceso a la tierra durante la colonia, pasando por la independencia y la revolución agraria hasta la conformación del Estado que los reconoce también como interlocutores del desarrollo y en los cuales apoyará parte de sus propuestas de modernización y les brindará los soportes para el crecimiento del sector (Wolf y Hansen 1967).

La producción del café en México y Veracruz

El proyecto Biocafé fue diseñado con el fin de identificar la biodiversidad de los cafetales y explicar su variación según las estrategias de manejo presentes. Para ello, es fundamental entender los factores sociales y económicos que influyen en los campesinos y los agroindustriales, ya conformados como cafeticultores. Estos sectores antagónicos viven actualmente varios cambios significativos incluyendo la aplicación de políticas neoliberales, la crisis mundial de la cafecultura, el impacto a la reforma del artículo 27 constitucional, la migración, y la pérdida de biodiversidad. Sin pretender agotar estos temas, quiero puntualizar algunos aspectos que ayudarían a identificar las diferencias encontradas y a valorar los resultados del estudio ecológico.

1) Políticas neoliberales. El Estado mexicano ha favorecido políticas neoliberales y nuevas formas de regulación estatal hacia el campo (Rubio 1996 y 2004, Carton 2005). La articulación de diferentes empresas en pocas firmas, que ha llevado a la formación de monopolios que dominan la producción rural y diversos sectores de la industria alimentaria, química y farmacéutica (por mencionar los principales) y al control del comercio en grandes superficies (Ortiz *et al.* 2004). Las políticas públicas para incrementar la producción por unidad de área y el aumento en la superficie han tenido un papel determinante en la producción del café (Nestel 1995, Perfecto *et al.* 1996, Bartra 1996). Esto ha favorecido a los medianos productores y a los grandes empresarios, excluyendo a los pequeños productores que mantienen formas diversificadas de producción de café. Sin embargo, varios estudios han demostrado que las estrategias diversificadas de los pequeños productores de café, además de conservar la biodiversidad (Perfecto *et al.* 1996; Moguel y Toledo 1999), también pueden ser más exitosas para enfrentar la crisis mundial de sobreproducción del café (Moguel y Toledo 2004, Eakin *et al.* 2006; Potvin *et al.* 2005). Por otro lado, en las negociaciones internacionales del café ha faltado la defensa de los intereses de los campesinos, lo que ha llevado a dejar en manos de las transnacionales el precio del producto. Además de los impactos negativos en la economía, falta evaluar su impacto ecológico en las zonas cafetaleras, en particular, cómo afecta la intensificación de la producción de café otros procesos ecológicos en el BMM, y tampoco se ha evaluado el incremento de la presión humana sobre otros recursos del bosque como consecuencia de los bajos precios del aromático.

2) Crisis de la cafeticultura. En las últimas décadas se asocia con las nuevas condiciones del mercado internacional del café (Porter 2000, Potvin *et al.* 2005) y la desregulación estatal del sector. A lo largo de la historia, el cultivo del café en México tuvo gran importancia y se pueden identificar dos periodos de auge. Uno fue durante el porfiriato (1870) cuando se atrajeron capitales extranjeros vendiendo enormes extensiones de tierra a precios bajos y asegurando que el café producido en las haciendas se posicionara en el mercado internacional con un crecimiento constante. El otro periodo fue durante la revolución verde (iniciada en 1950) con la incorporación de paquetes tecnológicos que fomentaron una producción subordinada y articulada al mercado internacional.

Alrededor de los años 70, las economías campesinas ampliaron su interés por el café como una estrategia más para incrementar sus ingresos económicos y con ellos minimizar los riesgos a los que estaban expuestos al cultivar los productos básicos de autoconsumo como el maíz, frijol y chile (Bartra 1999). La presencia del Instituto Mexicano del Café (INMECAFE) no sólo fue importante en la transferencia tecnológica sino que jugó un papel primordial en la comercialización y tecnificación del grano (Nestel 1995). Uno de sus objetivos fue reorganizar los sistemas de comercialización del sector público y privado, para mediar los conflictos que existían entre productores y dueños de la parte agroindustrial, entre acaparadores y finqueros y poner precios de garantía aunque sólo quedó en un intento, sin lograrlo.

En la década de los 80 se afirma el poder de las compañías transnacionales Philip Morris, Nestlé, Procter & Gamble, y Sara Lee, también conocidas como “los cuatro grandes”, que llegan a controlar alrededor del 83% de la producción con una ruta formada por una larga cadena de bienes que conecta a los productores de café con los consumidores finales en los países importadores (Waridel 2001). Al inicio de 1980 en el marco del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLC), México se abre a los mercados e inicia la desregulación de los precios, con graves consecuencias para los pequeños productores del campo (De-Janvry y Sadoulet 1997). Recientemente, aparece el creciente mercado de café de especialidad, que es considerado una alternativa a la ruta convencional dominada por “los cuatro grandes”. En los últimos 10 años ha crecido la confianza en los sellos verdes y los mercados éticos y equitativos, sin embargo, son contados los estudios que evalúan a profundidad la capacidad de dichos espacios para la producción de café ecológico certificado como alternativa de producción (Rice 2001, Perfecto *et al.* 2005, Nativitas 2006).

La producción del café esta fragmentada en su proceso de cultivo, transformación y comercialización, sus eslabones no siempre actúan a favor de la calidad, por ello, se han tomado medidas de control que garanticen la calidad, por ejemplo, existe un conjunto técnico y administrativo que se asocia a la producción rural para facilitar el acopio del café. Junto a ellos, pero actuando sólo para su beneficio, están los intermediarios llamados en México *coyotes* quienes especulan con el precio del café y se aprovechan de las condiciones de marginación de la mayoría de sitios de

producción. La comercialización del café es una fase sumamente importante. El mayor volumen se vende como café verde o café oro seguido por el café molido y tostado, que se ofrece al consumidor final, en taza. En estas condiciones globales es comprensible que los productores de café (campesinos y agroindustriales) actúen separados y con fuertes resistencias para experimentar cambios en sus estrategias de producción. Destaca la necesidad de comunicar y divulgar aquellas alternativas de éxito en la cafecultura. También nos alerta sobre los riesgos sociales y ambientales que trae el abandono de los cafetales y el aumento de otros cultivos menos amigables con la biodiversidad. Todo lo anterior justificó el interés del proyecto Biocafé en generar formas de manejo más sustentables que contribuyeran a la estabilidad de las zonas cafetaleras y sus recursos naturales.

3) Tenencia de la tierra. El impacto de la modificación al artículo 27 constitucional (1992) y la integración de las tierras ejidales al Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares (PROCEDE) promovió cambios en el sistema ejidal de tenencia de la tierra; en las formas de gestión, distribución y propiedad de las tierras en los ejidos de la región (Cornelius y Myre, 1998). Las formas de propiedad de la tierra se han transformado desde los antiguos territorios indígenas, menguados durante la colonia por la imposición de las haciendas, hasta el triunfo de la Revolución de 1917, cuando el Estado repartiría a los antiguos trabajadores de las haciendas, a trabajadores libres, o solidarios, y se convertirían en los ejidatarios cafetaleros. Así, ambos sectores sociales, exhacendados y ejidatarios, antagónicos por naturaleza, constituyen el motor de la cafecultura mexicana del siglo XX integrando un sólido sector agrícola, y dependiendo de los vaivenes del mercado internacional (Córdova 2005). En 1930 bajo la batuta del Estado se dirigió al país hacia la modernidad, con la reorganización corporativa de los trabajadores, la participación de la banca, obras de infraestructura y el desarrollo de un modelo agro exportador. Con el (PROCEDE) los ejidatarios obtienen certificados individuales de titulación de sus parcelas, le dan al ejidatario el derecho a vender, rentar o arrendar legalmente sus tierras, además de no estar obligado a trabajar personalmente sus parcelas. Al mismo tiempo se establecen los mecanismos legales que permiten la asociación de los ejidatarios con el capital privado nacional y extranjero. Estos cambios en la ley agraria repercuten fuertemente en la cafecultura no

sólo en el sector ejidal sino también abre la puerta a la inversión industrial en el mercado de la tierra. Sus posibles consecuencias para la biodiversidad incluyen los cambios acelerados en el tamaño de los cafetales y también del BMM, el impacto de diferentes tecnologías en el aprovechamiento de recursos naturales, ahora de beneficio común, y otros cambios de uso del suelo y la introducción de nuevos protagonistas sociales en cada región.

4) La migración. Entendida como el traslado de productores de café a otras regiones agrícolas y recientemente a Estados Unidos como estrategia fundamental de reproducción material y sociocultural de las localidades rurales (Fox 2001). En medio de las crisis cíclicas del precio internacional del café, ambos sectores (campesinos y agroindustriales) aprendieron a vivir alrededor de las expectativas que exige el mercado y aprovecharon los beneficios cuando el precio mejoraba con la lógica de producción o de sobrevivencia de cada uno. Pues mientras los ejidatarios migraban a otras regiones a trabajar y abandonaban los cafetales, los propietarios privados invertían en actividades fuera del sector agrícola o plantaban otros cultivos sin deshacerse del cafetal (Córdova 2005). En el transcurso del siglo XX, la incertidumbre que provocó el cambio en el precio del grano los hizo productores tenaces, y en su momento alternaron otros cultivos comerciales mientras mejoraba el precio, para después reinvertir nuevamente en sus cafetales. Además de la falta de fuerza de trabajo, ahora sin los buenos productores se pierde la cultura local. Eso explica en parte, la heterogeneidad de los cafetales, de las estrategias de producción, y de los impactos ecológicos en la base biológica de los recursos locales que los estudios del proyecto Biocafé quisieron abarcar.

5) El cultivo de café y la pérdida de biodiversidad. El origen de la diversidad de las plantas cultivadas ha sido entendido como el resultado de la selección natural modificada por la intervención humana. En México las exportaciones de los bienes agropecuarios representan el 2.8% del producto interno bruto, el café contribuye significativamente en los \$640 millones de dólares obtenidos, después del jitomate y seguido del ganado vacuno, legumbres y hortalizas. Los sistemas de producción del café en México tienen más de 200 años, con diversas formas de producción y articuladas en una larga cadena productiva (Nolasco 1985, Nestel 1995, Moguel y Toledo 1996, 1999). El cultivo de café bajo sombra, con cerca de 670 mil hectáreas

(Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesca 2006), de las cuales 62% tiene fincas de menos de 1 ha, con baja productividad menor a 8 Qq/ha, y el 60% son productores indígenas de 30 etnias (Bartra 2004). La superficie cultivada por café ocupa el quinto lugar después el maíz, frijol, sorgo y trigo. Con una producción de 270 mil toneladas en fincas que tienen 1.6 ha, en promedio (Ceja 2006). Las variedades de café utilizadas en México provienen principalmente de las especies *Coffea arabica* L. y en algunos casos se han utilizado híbridos con *C. canephora* Pierre ex Froehner (Santoyo *et al.* 1996). Cada variedad está diseñada para una combinación única de clima, resistencia a plagas, rendimiento, velocidad de crecimiento, incremento de la productividad en frutos, tamaño de la planta, y cualidades del grano (Santoyo *et al.* 1996). En este sentido, quiero señalar algunos significados de la conservación de los cafetales, para campesinos e industriales (en procesos de innovación, pérdida y transformación); para los primeros este proceso sucede en pequeñas unidades de producción, ya sea porque la biodiversidad representa recursos con valores útiles y porque el bosque tiene un valor cultural (Soto-Pinto *et al.* 2001). Para los segundos, la producción industrial, fuertemente articulada al mercado, con modelos tecnológicos homogéneos, la biodiversidad se considera un bien económicamente aún no valorado, pero visto con gran potencialidad en las áreas emergentes como el ecoturismo, la producción ecológica y la producción amigable con el medio ambiente (Rice 2001). Para ambos actores (campesinos y agroindustriales) las modificaciones tecnológicas son determinantes en la estructura social, la crisis de precios del café de 1989 fue un parte aguas y marcó el inicio de los nuevos paradigmas del café: producir a través de una agricultura sustentable y mejorar la calidad del grano para conquistar a consumidores de los llamados mercados diferentes. En este sentido, si lo que se busca es lograr la conservación de la estructura y funcionamiento del BMM (Rice y Ward 1996) a través del café de sombra, es primordial que proyectos como Biocafé lleven a cabo la negociación con los actores sociales enmarcada en la estructura de poder en el ámbito local como en el global.

Justificación y propósitos de la organización

Cabe preguntar: ¿Qué estrategia seguir para equilibrar la conservación de la biodiversidad de los bosques y la producción de los cafetales? Se han fincado muchas

esperanzas con la apertura de los mercados de servicios ambientales (Gobbi 2000, Rice 2001), se incentiva el cambio de uso del suelo, sobre todo desde la ganadería extensiva y los cultivos anuales hacia cultivos más amigables con el medio ambiente, como el café y el cacao. Por ejemplo, las zonas cafetaleras de Veracruz (Manson 2004, Gordon *et al.* 2007), Oaxaca y Chiapas han sido pioneras en la aplicación de estos proyectos, pero por ahora, hay pocos mecanismos administrativos (Gómez 2003) y el acceso a los recursos económicos no operan adecuadamente para crear los mercados (Rice 2001) que incluyan todas las zonas productoras de café. El área cafetalera del centro de Veracruz está formada por municipios contiguos y un clima favorable para los pocos remanentes del BMM que quedan en la región con diferentes grados de perturbación (Rzedowski 1996). También son notables las condiciones desiguales de crecimiento económico e infraestructura productiva, lo cual subordina la producción del café a otras relaciones sociales y económicas de la región (De Grammont 2005). Veracruz es el estado con mayor número de ejidos y comunidades agrarias con un total de 3,337 (INEGI, 2003), es el segundo productor de café en México; y la región centro del estado la más importante: se cultivan 141 mil ha, de las cuales, la región centro aporta el 42%. Tiene 85 mil productores y la región centro contribuye con el 25%. En el año 2005, Veracruz produjo un millón 83 mil Qq, y la zona centro aportó el 10% de la producción nacional. El cultivo del café en Veracruz representa el 24% de las zonas agrícolas, lo que corresponde al 7.3% de la superficie cultivada en México (Cafés de México 2006).

Por ello en Veracruz, y en general para México, la pérdida de la biodiversidad relacionada con los sistemas de cultivo y la desaparición de los cafetales debe ser un tema de suma importancia en la conservación de los bosques, para la justicia social, autodeterminación, la participación política y la soberanía. En este contexto, el estudio de los cafetales en la región Coatepec-Huatusco, toma relevancia en la agenda estatal, pues no sólo se trata de conservar los cafetales de Veracruz con producción de alta calidad, sino que están en juego decisiones políticas y económicas que afectan a tres millones de personas que dependen del cultivo (Nestel 1995, Bartra 2002).

El proyecto Biocafé fue financiado por los Fondos Sectoriales de CONACyT-SEMARNAT. Esta convocatoria apoyó proyectos que vincularan la investigación

básica con el sector productivo. Por esto, y las demás consideraciones mencionadas anteriormente, Biocafé propuso formar un grupo, definido por el conjunto de personas que establecen formas adecuadas de comunicación, tienen un propósito de aprendizaje, toman acuerdos para enfrentar las diferencias y logran una identidad (Pichón Riviére 1971, Bleger 1980) con productores e investigadores que en 3 años intercambiaron su experiencia en la producción de café y en el conocimiento de la biodiversidad.

Son pocas las experiencias que han sistematizado su trabajo con protocolos de investigación y participación social (Contreras y Medellín 1994, Contreras y Salas 1996, Ysunza *et al.* 1996). Menos aún, se cuenta con evaluaciones que permitan medir el impacto de las propuestas de investigación en la producción rural (Kember y Gow 1992, Leff y Carabias 1993, Contreras *et al.* 1999, Masera y López 2000). Los conocimientos locales y el significado de la cafecultura y la biodiversidad del BMM, toman relevancia en los programas de conservación de la biodiversidad y el pago de servicios ambientales. En este contexto, es posible visualizar recomendaciones clave para la aplicación de políticas públicas (Contreras y Hernández 2005). Los objetivos de organización y vinculación del proyecto Biocafé fueron: 1) proponer una dinámica de trabajo para el grupo operativo de Biocafé, 2) facilitar las condiciones para lograr el aprendizaje del cultivo del café y la biodiversidad, y 3) sistematizar los resultados del proceso de organización en propuestas de investigación-acción (Habermas 1989).

MATERIAL Y MÉTODOS

Elección de fincas, formación de grupo y dinámica de trabajo

En Biocafé consideramos las características de la zona centro del estado y elegimos las fincas tomando en cuenta los temas resaltados en el Capítulo 1, con tres criterios principales: a) que las fincas representaran puntos distintos de un gradiente de intensificación de manejo del café, con sistemas de producción definidos, de diferente tamaño, y que sus propietarios representaran diferentes perfiles sociales (Nolasco 1985, Moguel y Toledo 1996, 1999, Capítulo 2), b) que su propietario estuviese interesado en participar en las actividades del proyecto durante 3 años facilitando las investigaciones en su finca, y c) sin hacer grandes cambios de

manejo durante este periodo. Se estudiaron 17 fincas de café y 3 fragmentos de BMM en la región central de Veracruz (Figura 1.1 de Capítulo 1). Para caracterizar la producción de café se diseñó un cuestionario abarcando aspectos socio-económicos y de manejo de cada unidad de producción a través de 128 preguntas. Las respuestas de cada productor se corroboraron en campo con muestreos de vegetación y otras observaciones con el resultado de una clasificación agroecológica de las unidades de producción (Capítulo 2).

Para organizar el grupo de Biocafé partimos de la teoría de grupos operativos (Pichón-Riviére 1971, Bauleo 1974), propusimos actividades sobre las cuales se desarrolló el aprendizaje y se construyó colectivamente. Más aún, cuando productores e investigadores deseaban mantener un diálogo horizontal y valorar el conocimiento de cada uno. Pichón Riviére (1971) caracteriza al grupo como conjunto restringido de personas que ligadas por constantes de tiempo y espacio y articuladas por su mutua representación interna se propone, en forma explícita o implícita una tarea que constituye su finalidad, interactuando a través de complejos mecanismos de asunción y adjudicación de roles. El sujeto aparece bajo un doble carácter como agente, actor del proceso interaccional, a la vez que configurándose en ese proceso, es decir, emergiendo y siendo determinado por las relaciones que constituyen sus condiciones concretas de existencia.

El trabajo de Biocafé se organizó con tres tipos de participantes: académicos, productores y funcionarios públicos. Los académicos fueron investigadores, técnicos y estudiantes, que realizaron los inventarios de especies y servicios ambientales claves, cuyos resultados se integraron en una base de datos y evaluados por cada unidad de producción según la clasificación presentada en el Capítulo 2. Los productores fueron: campesinos, técnicos que producen café y cafecultores agroindustriales, ellos describieron el manejo su finca, compararon las diferentes estrategias de la región y evaluaron las alternativas de producción. Los representantes de instituciones fueron directivos y técnicos de las instituciones de fomento del sector, presentaron los programas de apoyo a la cafecultura y hablaron de las prioridades en la administración pública centrada en el censo cafetalero y el estudio de impacto ambiental de la producción de café en Veracruz. Con las aportaciones de estos tres actores se elaboró un diagnóstico de la cafecultura de la región.

El trabajo tuvo la siguiente mecánica: se integró un equipo de coordinación que diseñó el método para realizar los estudios socioeconómicos y la organización de los productores. Esta coordinación citó al grupo a una reunión mensual, una vez en las instalaciones del Instituto de Ecología, A.C. (INECOL) y otra en una finca de estudio (Figura 3.1). Cada reunión se convocó con un tema de trabajo, y su dinámica estuvo acompañada de ejercicios grupales para favorecer la comunicación, el aprendizaje, la pertinencia y la pertenencia (Bauleo 1974). Después de las seis primeras reuniones se analizó la información generada en las reuniones mensuales y se eligió el tema de trabajo de un Taller de Productores. Se realizaron tres talleres,

y sus temas fueron: problemática actual de la cafeticultura, avances de los estudios de la biodiversidad y la calidad del café. Este trabajo estuvo apoyado con exposiciones de fotografía, conferencias y dinámicas grupales en equipo. Se registraron los resultados y se compartieron con los invitados al taller. Las minutas fueron analizadas y su información ordenada en una base de datos para medir el impacto del proyecto Biocafé en el contexto regional, esta actividad se repitió en los tres años del proyecto (Contreras y Salas 1996, Contreras 2000; Contreras datos no publicados).

Durante las sesiones se registraron los acuerdos, se asignaron responsabilidades y se obtuvieron conclusiones del trabajo. Después de cada reunión se redactó un resumen del tema, las minutas se distribuyeron entre los participantes y se recomendó al grupo integrarse a las tareas propuestas. Para cada finca se completó un expediente que reúne los materiales de trabajo, así como el diagnóstico de unidad productiva y los resultados del estudio de su biodiversidad y los servicios ambientales (Figura 3.1).

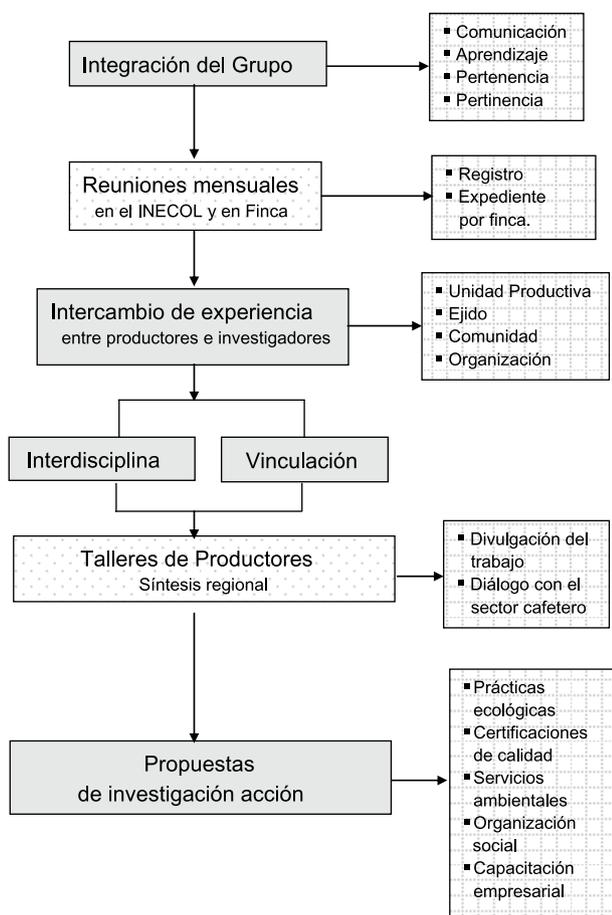


Figura 3.1. Diagrama del trabajo grupal del proyecto Biocafé. Se muestran con diferentes texturas tres líneas de trabajo grupal incluyendo: 1) las actividades y reuniones de trabajo (□), 2) las tareas de coordinación, trabajo de individuos, de equipo y grupo (▨), y 3) los temas de trabajo grupal, acciones de relación con los actores sociales y líneas de recomendación para la producción de café (▩).

Intercambio de saberes entre productores e investigadores

Trabajar con personas que provienen de realidades distintas y que en ocasiones tienen intereses contrapuestos demanda condiciones adecuadas de comunicación y expresión libre de sus puntos de vista (Bauleo 1974). En Biocafé los productores, investigadores y funcionarios públicos fueron convocados para: a) reflexionar ¿qué es la biodiversidad?, en particular, se presentó cada uno de los 12 grupos de organismos de interés: hongos (saprobios y simbiotes), helechos, plantas leñosas, epífitas (orquídeas y bromelias), artrópodos (hormigas, escarabajos y moscas), vertebrados terrestres (anfibios, reptiles, mamíferos pequeños y medianos y murciélagos) y aves. Se explicaron sus funciones ecológicas y su estado de conservación en el BMM y el cafetal, justificando su importancia actual y potencial. a) Se coordinaron esfuerzos para la realización de los inventarios de especies según las necesidades de investigación y producción de café; b) se analizó el concepto de servicios ambientales (el estado nutricional de los suelos y su capacidad de canalizar agua al subsuelo, el secuestro de carbono tanto en cafetales como en BMM y la polinización del café); c) con la información del cuestionario se caracterizaron las unidades de producción según: su condición físico-biológica (ubica-

ción geográfica, la sombra del cafetal y la plantación de cafetos), su estrategia de manejo (que considera las labores culturales, fertilización, control de malezas, y control de plagas), y la condición socioeconómica de los productores definida por (la superficie total del cultivo, tipo de administración de la unidad, número de empleos (fijos y temporales), tiempo dedicado a la producción, ingresos obtenidos por el cultivo de café; d) se reflexionó sobre la política pública agraria y en particular, del sector cafetero. Se analizaron los apoyos para la producción y las oportunidades según la problemática regional. Para las fincas (de campesinos y agroindustriales) se evaluaron las alternativas de producción convencional del café y la producción orgánica, así como su participación en el control de los diferentes eslabones de la cadena de producción hasta la venta directa al consumidor.

Relación con las organizaciones de productores

Para estudiar las 17 fincas de Biocafé participaron directamente 25 productores (15 dueños y 10 encargados), ellos facilitaron el conocimiento de la unidad de producción, la estrategia de manejo y su organización. Aun cuando presentaron diferencias notables se pudieron observar tres estrategias de organización: a) los campesinos que no forman parte de una organización, ellos presentaron el proyecto de su ejido o comunidad: Las fincas (PAM y PAN) del Ejido Coatepec, están sujetas a fuertes presiones por el crecimiento de la mancha urbana de Coatepec, con ellos se realizó un diagnóstico del impacto urbano en el uso de la tierra ejidal (Ortiz 2007), el propietario de la finca (AUR) habló del Ejido Ocotitlán y la producción de café, b) los productores que están afiliados a una organización campesina como la finca (MOR) pertenecen a la comunidad Crucero de Zapata y tiene vínculos con la Unión de Productores de la Montaña de Ocozaca (OCOZACA) de Ixhuatlán del Café en la región de Huatusco, para esta organización se sistematizó la historia de la organización (Nativitas 2006), esta agrupación surgió como respuesta a grave situación de pequeños productores, cuenta con 21 socios y un total de 81.2 ha, de café orgánico certificado. Los productores de la finca (AXO) de la comunidad de Potrerillo y (MIR), forman parte de la Unión Regional de Pequeños Productores de Café Agropecuaria Forestal y de Agroindustrias de la Zona de Huatusco (URPPH), se trata de una organización

con larga trayectoria regional que cuenta con 2480 productores, tienen 3000 ha de café convencional y 1000 ha de ecológico, la mayoría de sus socios tienen en promedio 2 ha; c) los productores industriales con superficies medias (ALU, ARM, ZOP, ORD, ONZ, ESM, SOL y CAM) mostraron la red de trabajo de su empresa; y los grandes productores sus vínculos con los programas gubernamentales (VBM, VCS, VSE, y MAR).

Vinculación con las instituciones gubernamentales

Durante las reuniones mensuales y los tres Talleres de Productores se invitó a representantes de instituciones de fomento a la producción del café. Se reflexionó sobre las políticas públicas relativas a los apoyos a la producción de café, las figuras asociativas y la valoración del sector cafetalero en la región. Se dieron a conocer los servicios que presta el Estado (Gómez 2003, Cafés de México 2006) para apoyar la producción y la conservación de la biodiversidad. Con las organizaciones de productores se gestionaron proyectos para el pago de servicios ambientales y para capacitación ante la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Los talleres se organizaron con una convocatoria amplia entre los participantes de Biocafé, las instituciones del sector y los expertos de la cafecultura. El trabajo de difusión se apoyó con el uso de los medios de comunicación masiva, como son la radio, la prensa y la televisión. En conjunto, los investigadores brindaron asesoría para mejorar la producción y reducir los impactos ambientales por la producción de café en: conservación de la biodiversidad, certificación ecológica, servicios ambientales, organización social y capacitación empresarial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diálogo de conocimientos científicos y populares de la biodiversidad

En Biocafé las reuniones de productores tuvieron tres líneas de acción: de organización y vinculación; para conocer las estrategias de manejo de las fincas; y el estudio de la biodiversidad. En el primer año los 20 investigadores principales del proyecto funcionaron como líderes de grupo. Se socializaron los objetivos del proyecto entre los 83 académicos adicionales

(investigadores, técnicos y alumnos), 91 productores y 58 invitados. Hubo un total de 252 personas que reflexionaron los objetivos del proyecto, centraron su atención en el trabajo de campo en finca, y conocieron las formas de manejo de los cafetales (Figura 3.2). Con la experiencia de los productores y los conocimientos de los investigadores el grupo aprendió las fases técnicas de la producción del café. Se identificaron los problemas y algunas soluciones como: el ataque de la broca del café por la disminución de depredadores naturales, el ataque de hongos en los rizomas de las matas de plátano causada por la pérdida microorganismos en el suelo, y la presencia de tuzas en los cafetales y las limitaciones de su control por métodos químicos o mecánicos. Para ambos grupos (investigadores y productores) se evidenciaron los problemas de comunicación. También se presentaron experiencias exitosas en la producción, por ejemplo: el manejo de borregos en el cafetal para controlar la presencia de herbáceas y la venta de la carne como ingreso adicional de la finca, el uso de máquinas hoyadoras para la renovación de cafetos, con la consecuente disminución en el número de jornales, y la siembra intercalada de plantas ornamentales (flor, follaje y condimentos). Esto demuestra que el manejo de información, el intercambio de prácticas agrícolas

y la experimentación de nuevas formas de trabajo ayuda al diálogo entre productores, condición que no existía antes y también les mostró a los académicos que los productores están experimentando alternativas en sus cultivos. El trabajo realizado en las 10 primeras reuniones de Biocafé mostró la importancia histórica de la caficultura, su presencia de más de 200 años en México, su aportación a la economía local y la generación de empleo directo e indirecto. La producción del café en las 17 fincas del proyecto es heterogénea y una muestra pequeña, como hemos visto, es insuficiente para obtener una tipología. Sus estrategias de producción (y por eso las recomendaciones formuladas como resultado del proyecto Biocafé) tienen distintas posibilidades de inversión, requiere diferentes apoyos técnicos que van desde plantas de cafeto de calidad, las herramientas e infraestructura de la producción hasta maquinaria y apoyos financieros para la comercialización. Nuestros productores pudieron comparar sus recursos y de igual manera visualizar alternativas de cambio. En el grupo se reconoció que los cafetales bajo sombra tienen mejores condiciones para la conservación de la biodiversidad. Se entendió que la cubierta vegetal en el terreno contribuye a mantener los ciclos ecológicos pero para mantener la integridad

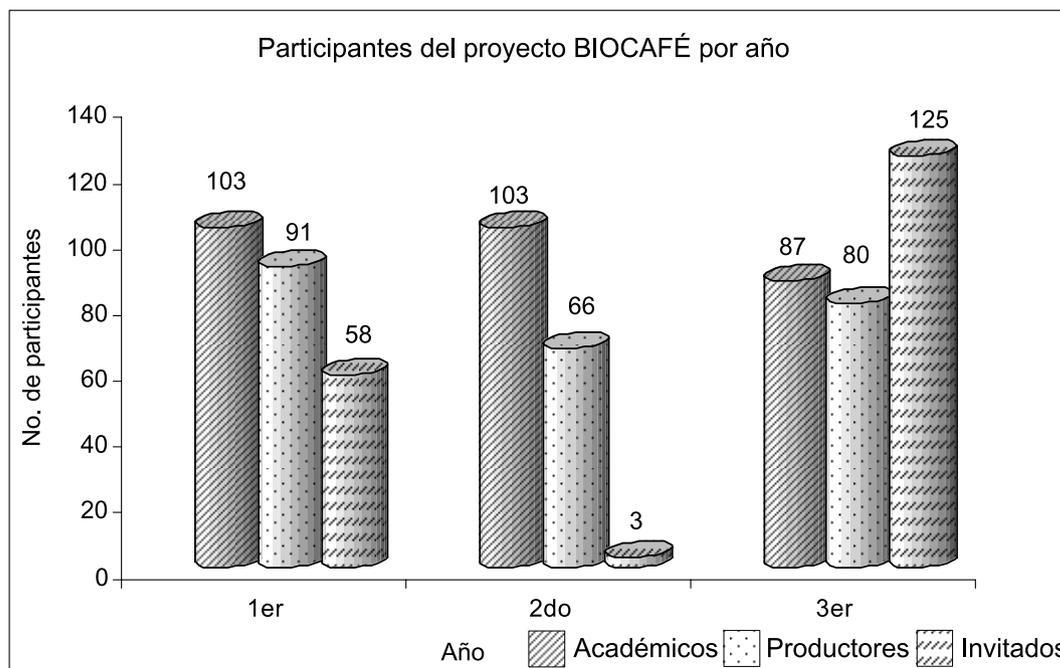


Figura 3.2. Cambios en el número y tipo de participantes en el proyecto Biocafé durante sus primeros tres años de funcionamiento.

del ecosistema es necesario evaluar diferentes grupos indicadores de la salud ecosistémica (Cuadro 3.1).

En el segundo año, la atención de 103 académicos, 66 productores y 3 invitados (172 personas en total; Figura 3.2) se centró en la utilidad de la biodiversidad para mejorar las estrategias de producción de café: la presentación de información biológica, ecológica y de aprovechamiento de los 12 grupos biológicos de interés permitió a los productores mirar de manera integral el cafetal y contextualizar la importancia de la riqueza de recursos biológicos del país. La expresión de diferentes experiencias permitió identificar especies del BMM que podían incorporarse a la producción, además de conocer algunas de las funciones ecológicas de organismos silvestres que contribuyen a estabilizar la producción del café (véanse las recomendaciones particulares de los estudios de cada grupo taxonómico o servicio ambiental en los Capítulos 4 al 18). Los productores cambiaron su percepción del quehacer científico al conocer el trabajo de colecta, separación, identificación y evaluación de organismos. Su participación activa en el diagnóstico y reflexión de los avances de investigación, así lo demuestran. La observación del

trabajo realizado en campo, las constantes preguntas que esclarecen la relación entre la producción del café y el mantenimiento de las funciones ecológicas, su asombro ante los inventarios obtenidos, por ejemplo, de insectos. Aunado a lo anterior, se ajustaron los propósitos del proyecto y se atendieron algunas demandas de los productores, como la elaboración de listados de especies con uso potencial para su aprovechamiento en los cafetales; más visitas de los académicos a las fincas para respaldar el cuidado de los cafetales, evitar el saqueo de leña y especies; divulgar los resultados del proyecto llevando las exposiciones de carteles a los municipios y casas de cultura (Cuadro 3.2).

Durante el tercer año, los esfuerzos de 87 académicos, 80 productores y 125 invitados (un total de 292 asistentes; Figura 3.2) se encaminaron a la síntesis y divulgación de la información generada, la visualización de alternativas y la planeación para una nueva etapa del proyecto de Biocafé (Cuadro 3.2). Esto supuso superar las diferencias en los patrones de comunicación, valorar la práctica de cada integrante y experimentar distintas formas de trabajo. La relación de información especializada entre los académicos permitió arribar al

Cuadro 3.1. Esquema del diagnóstico de la cafeticultura del centro de Veracruz realizado por el grupo Biocafé.

Importancia de la cafeticultura en la región centro de Veracruz	
Histórica	Social
<ul style="list-style-type: none"> Se reconoce la importancia histórica de la cafeticultura en la región. Se valora la aportación económica de la cafeticultura a los ingresos del país. Se identifica la cadena productiva de café como una de las actividades agroindustriales que más empleo genera, con la participación de diferentes actores sociales. 	<ul style="list-style-type: none"> Su papel central en la articulación de procesos sociales regionales. La lucha de los actores sociales protagónicos en la defensa de la producción del café. Se identifican los principales problemas del campo, la pobreza, la migración y la pérdida de conocimientos de la cafeticultura.
Técnica	Ambiental
<ul style="list-style-type: none"> La heterogeneidad en los sistemas de producción requiere de asesoría técnica particular, en cada fase del proceso productivo. No se cuenta con el personal para elevar la producción. Se identifican los problemas para mantener buenos rendimientos de producción de café. Falta destinar recursos económicos para potenciar las formas de producción campesina y desarrollar capacidades empresariales. 	<ul style="list-style-type: none"> Se valora la producción de café bajo sombra para la conservación de la biodiversidad, la captación de agua y el mantenimiento de la fertilidad del suelo. Se reconoce la pérdida de buenos cafetales por el cambio de uso del suelo a otras actividades agrarias y por crecimiento urbano. Falta de valoración social de la cafeticultura ante el crecimiento urbano, el robo de recursos y la presencia de basura.

Cuadro 3.2. Reuniones de productores de Biocafé (2004-2006). (NR) Número de Reunión. Línea de acción: (O) Organización y vinculación; (E) Estrategias de manejo de las fincas; (B) Estudio de la Biodiversidad. Temas de trabajo y principales resultados. Responsable de la actividad: productores (°), académicos (+), funcionarios (&) y todos (*).

NR	Acción			Año 2004
	O	E	B	
1	X			El proyecto Biocafé. Los participantes reflexionaron los objetivos del proyecto, identificaron los equipos de trabajo y acordaron las reglas de colaboración. (*)
2		X		El cultivo de café a pleno sol (SOL). Se visitó el cafetal, se analizó el diseño de siembra y las prácticas de manejo. Se valoraron los beneficios económicos al intensificar el cultivo, en contraposición se explicaron los beneficios del arbolado para el cultivo de café bajo sombra. (°) (+)
3	X			Servicios ambientales. Se presentan los conceptos de servicio ambiental y mercados ecológicos: del agua, secuestro de carbono, biodiversidad y ecoturismo. Se evalúan sus posibilidades de apoyo para las fincas de café (+) (°)
4		X		Alternativas de producción (MIR). Se mostraron las diferentes áreas de la finca. Su dueño explicó las prácticas productivas que le permitieron certificarse con Orgánica Corp. Improvement Association (OCIA). El uso de borregos para el control de malezas. Y un proyecto de observación de aves y ecoturismo (°) (+)
5		X		La producción sustentable de café ecológico (MOR). Visitamos la organización OCOZACA, y trabajamos con sus 25 integrantes. Se conoció su propuesta de desarrollo y las formas de producción de café orgánico certificado (OCIA) y la diversificación productiva de los cafetales. (°) (+)
6	X			1° Taller de Productores. Se elaboró en grupo el diagnóstico de la cafecultura en Veracruz. Se presenta la exposición el Huatusco de Antaño: retrospectiva de la cafecultura del siglo XIX. (*)
7	X			Integración de documentos para PSA. El grupo se enfrenta a las dificultades para reunir los requisitos y acceder a los fondos públicos. Se visita a los productores y sus organizaciones, de las dos regiones Coatepec y Huatusco (&)
8		X		La poda esquelética (MAR). Se visitaron los cafetales de porte bajo, con buena producción de café de calidad, se explicaron las diferentes prácticas de manejo para incrementar los rendimientos. (°) (+)
9	X			Servicios ambientales. Se analizan las bases de los pagos por servicios ambientales PSA-CONAFOR (2004) a sistemas agroforestales con cultivos bajo sombra (café). Se elaboran 2 de PSA y 1 de capacitación. (&)
10		X		Mi finca: ¿a qué cafetal se parece? Se presenta la clasificación de cafetales a los productores, ellos analizan su finca y su estrategia de manejo para indicar a cuál se parece su finca. (°) (+)
Año 2005				
11	X			Producción diversificada (PAN). Se explicó la estrategia de suelo: fertilidad del suelo. El cuidado de especies arbóreas del BMM para sombra. La producción de plantas medicinales, comestibles (hoja de plátano, frutales) y ornamentales (palma camedor). (°) (+)
12		X		Murciélagos. Se presentaron las características distintivas de los murciélagos. Se reflexionó sobre el origen cultural del estigma negativo de los murciélagos. En un taller diseñado para los productores se presentaron los avances de investigación. (°) (+)
13	X			Historia productiva de (VBM). Se visitó la hacienda y se conoció la organización de la producción. El manejo de fertilizantes. La falta de mano de obra y el papel de la Almacenadora Mexicana Sociedad Anónima (AMSA) en la compra de los beneficios de la región. (°) (+)
14		X		Los mamíferos medianos. El tema de reflexión fue la baja densidad de mamíferos en los cafetales, se presentaron las evidencias del daño físico en los animales por cacería con perros. (°) (+)
15	X			El comercio local de café (ONZ). Se visitó un cafetal antiguo que se mantiene en buenas condiciones de producción. Su propietario quería producir café orgánico pero no le rendía, así que incorporó algunas prácticas convencionales de bajo impacto. Él controla todo el proceso productivo, vende café en taza y tiene gran prestigio local. (°) (+)

Cuadro 3.2. Reuniones de productores de Biocafé (2004-2006). (NR) Número de Reunión. Línea de acción: (O) Organización y vinculación; (E) Estrategias de manejo de las fincas; (B) Estudio de la Biodiversidad. Temas de trabajo y principales resultados. Responsable de la actividad: productores (°), académicos (+), funcionarios (&) y todos (*). (Continuación)

	O	E	B	
16		X		2° Taller de Productores. Avances de investigación de Biocafé. Se visitó el Laboratorio de Análisis Químico de Suelo, Agua y Plantas y la Unidad Forestal.
17		X		2° Taller de Productores. Se organizó una exposición con 14 carteles. Para cada finca se definió su estrategia productiva. Los avances parciales del inventario de especies. Una descripción de la cobertura vegetal de la finca y el paisaje de su entorno en un radio de 2 km (*)
18	X			El cambio de estrategias de producción (ORD). Se visitó la hacienda y se observó el antiguo trazo del cafetal que aun conservan los cítricos. Se observa un arbolado envejecido y la práctica de destencho. La producción de cafetos en viveros. (°) (+)
19		X		Hormigas y Moscas. Se presentó la importancia de las hormigas en la naturaleza. Para los productores fue más importante saber como controlarla cuando actúa como plaga. Después se habló de la diversidad de las moscas y su impacto en la producción de frutos. (°) (+)
20		X		Escarabajos y Epífitas. En el marco de la exposición Las Fincas de Biocafé se presentó en el Ayuntamiento de Coatepec el avance de los estudios de los escarabajos. También se presentó el inventario de epífitas. (*)
Año 2006				
21	X			¿Cómo recuperar una finca abandonada? (ESM). Se trata de una finca abandonada, con árboles envejecidos y cafetos de baja producción. Ahora están realizando prácticas de manejo para producir café de calidad y venderlo de forma directa en sus tiendas. Usan un beneficio ecológico. (°) (+)
22		X		Hongos saprobios y simbiotes. Visita al laboratorio de hongos. Se presentó el proceso de colecta, separación, siembra y aislamiento de colonias de hongos. Los productores hablaron de aquellos que se observan en la descomposición de la hojarasca y en la pudrición de los frutos. En particular expusieron el problema de la pudrición de los rizomas del plátano. (°) (+)
23	X			Historia de OCOZACA (MOR). Se organizó un taller con los productores de OCOZACA para devolver los resultados del estudio de la historia de la organización. Los asistentes se sorprendieron del trabajo realizado al poder identificar los aciertos y debilidades de su organización. (°) (+)
24		X		Helechos. Se presentó la exposición Las Fincas de Biocafé en la Casa de la Cultura de Huatusco y el avance de los estudios de los Helechos, con énfasis en sus usos potenciales. (*)
25	X			3° Taller de Productores. La calidad del café en taza. Se respondió a la pregunta ¿Qué hacen los productores para obtener café de calidad? Se organizaron tres mesas de trabajo 1) En la finca 2) en el beneficiado seco y húmedo y 3) durante la torrefacción. Se presentó una exposición de carteles con resultados de investigación. (°) (+)
26	X			Cambio en la producción (VCS). De la producción tradicional a la producción tecnificada. Se visitó el beneficio La Cuchilla y se conoció el procesamiento industrial del café con denominación de origen Café Veracruz. (°) (+)
27	X			La certificación de Rainforest Alliance. Se explicó la forma de trabajo de la certificación para proteger ecosistemas, personas y vida silvestre. Certificando los procesos productivos y mejorando el precio de los productos.
28	X			El comercio internacional del café. Se presentó un punto de vista del comercio internacional del café. Fundación Internacional de Investigación en Ciencias Sociales y Administración (FIIICSA). (&)
29	X			La aprobación del PROYECTO PSA-(2006). Se aprueba un proyecto para Huatusco (2006) y uno de capacitación. Las organizaciones beneficiadas trabajan juntas para ejecutar el proyecto (2007). (°) (+)
30	X			Se presentan el esquema de organización del Centro Agroecológico del Café A. C. Participan productores de Biocafé, sus organizaciones URPPC-Huatusco y OCOZACA, académicos del CRUO, el CITRO y el INIFAP. (*)

trabajo interdisciplinario y el entendimiento de diversas realidades en la producción. También, facilitó el debate de recomendaciones para consensuar opiniones con la esperanza de su aceptación.

Los Talleres de Productores fueron ejercicios de integración de la red de participación de Biocafé, en el primero se hizo un diagnóstico de la cafeticultura en Veracruz; en el segundo se presentaron los avances de investigación del proyecto y el tercero evaluó las prácticas de producción para obtener un café de calidad. Al interior de Biocafé esta actividad contribuyó a marcar un ritmo en el trabajo de grupo; para los colaboradores cercanos (académicos y líderes de organizaciones de productores) fue un medio de información y debate de aquellos temas polémicos y alternativas de acción; para el público en general permitió mostrar la vinculación de la investigación con el sector productivo. En síntesis, Biocafé instrumentó 27 reuniones mensuales, 3 talleres de productores, 17 se realizaron en el INECOL y 13 en las fincas de estudio (Cuadro 3.2).

Intercambio de saberes

En Biocafé la herramienta de trabajo fue el intercambio de información entre los diversos participantes. La integración del grupo fue un propósito principal, especialmente considerando que académicos, productores y funcionarios públicos se relacionan en estructuras de poder con patrones de comunicación diferentes. Además contribuyó a legitimar las recomendaciones del proyecto con los diferentes actores de la cafeticultura. Los temas de las 30 reuniones de productores y sus principales resultados se muestran en el Cuadro 3.2. Para el estudio de la biodiversidad se realizaron 9 sesiones, en ellas se presentaron conceptos ecológicos, temas que mostraron la relación entre la producción del café y la diversidad biológica. Para comprender los sistemas de producción se realizaron 11 visitas a las fincas, con recorridos de campo y una explicación de su manejo. Y para compartir los avances y los resultados de investigación se realizaron 10 reuniones. En total participaron 292 personas, 79 integrantes de Biocafé y 213 académicos y productores interesados en la biodiversidad de los cafetales. Los temas fueron abordados por un responsable, las sesiones estuvieron apoyadas por un coordinador, en promedio asistieron 21 personas a cada reunión. La palabra la tuvieron diferentes actores; en ocasiones el espacio se abrió a investigadores, en otro momento

a productores y también a conferencistas y líderes de organizaciones.

A continuación se señalan algunos procesos que ilustran la dinámica grupal. Los académicos son expertos, han sido formados en el modelo positivista de la investigación, que a su vez es reforzado por una escala jerárquica de relaciones institucionales. Los académicos saben cómo comunicarse entre especialistas y con técnicos que apoyan su trabajo. La forma de relacionarse es típicamente de la escuela tradicional de enseñanza, donde uno sabe y el otro aprende. El maestro (experto) parte de la suposición de que los alumnos son recipientes vacíos de conocimientos y de información que es necesario “llenar” (Freire 1970, 1993). Para los académicos fue difícil experimentar un modelo diferente al de capacitador, el cuál hace bien dentro de su campo de especialidad; lo práctica en temas técnicos pero elude otros aspectos que pueden ser prioritarios a los productores. En general, los investigadores de Biocafé se manifestaron abiertos al diálogo y el reto futuro será realizar más estudios aplicados e implementar las propuestas generadas en las fincas de café.

Los productores, por su parte, miden su capacidad de acuerdo con su propia concepción de lugar y espacio en el que se desenvuelve su vida cotidiana, en el ámbito familiar, dentro del ejido, la comunidad y la organización. Poseen valores específicos para medir el éxito, ya sea de su trabajo, en la producción del café y a fin de cuenta, de su proyecto de vida, por ejemplo, hay productores que afirman, el café me dio todo lo que tengo ¿cómo voy a tumbarlo? Para otro campesino ser autoridad en el ejido es una distinción, aun cuando no representa beneficios económicos. Yo trabajo para la organización, y mi deseo es que mis hijos vivan dignamente de la producción de café. Sus capacidades se valoran en el trabajo manual en la finca, con labores que muestran su habilidad en la producción y la administración de la infraestructura que poseen. Los productores de Biocafé valoraron cada forma de manejo y el colectivo intentó desde la perspectiva de cada productor re-pensar la estrategia seguida. El intercambio entre productores y científicos tuvo tres esquemas principales: aceptado su autoridad académica y sólo escucharlos; escuchar la información y expresar su punto de vista; y reconocer que los académicos tienen un tipo de información y lenguaje especial pero que ellos tienen conocimientos prácticos que los académicos muchas veces no conocen. El reto

futuro será que experimenten cambios que les permitan mejorar la producción de café y aprovechar la biodiversidad de sus cafetales. También, será importante que haya más intercambios de información entre los productores mismos, así como mayor coordinación del sector en la búsqueda y desarrollo de esquemas alternativos de producción sustentable y mercadotecnia del café en nichos especializados del mercado.

Relación con organizaciones de productores e instituciones académicas

Las organizaciones que participaron como invitadas en Biocafé fueron siete: Asociación Agrícola de Coatepec de la Confederación Nacional Campesina (CNC), Consejo Regional del Café de Coatepec (PROCAFE), Unión General Obrero Campesino y Popular (UGO-CP), Unión de Comunidades Indígenas de la Región del Istmo (UCIRI), Cooperativa de Mujeres Cafetaleras de Coatepec (CORECAFECO), Central Independiente de Obreros Agrícolas y Campesinos (CIOAC). Muchos de sus líderes y productores manifestaron el interés por conocer el avance del trabajo y manifestaron su deseo de colaboración. Para otros, fue poco comprensible porque investigar la biodiversidad de los cafetales sin atender los problemas en la producción, ya que desde su punto de vista estos aspectos están íntimamente relacionados. En un futuro las organizaciones y Biocafé tendrán que proponer formas de participación más comprometidas en los proyectos de investigación.

El proyecto Biocafé invitó a académicos de quince instituciones: Centro Regional Universitario de Oriente (CRUO) de la Universidad Autónoma de Chapingo; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, sede Xalapa (INIFAP); Universidad Veracruzana (UV); a través de investigadores del Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO) del proyecto Diversificación Productiva de Cafetales de Baja Altitud (DIPROCAFE), de las facultades de Sociología, Economía, Agronomía y Biología; Colegio de Agrónomos de Veracruz; Escuela Nacional de Ingenieros de Trabajo Agrícola en Clemont-Ferrando (EMITA), Francia; Universidad de las Américas (UDLA); con el Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM, (IIS-UNAM); Universidad de Yale, EUA; Colegio de Posgraduados de Chapingo, (COLPOS), sede Veracruz. La mayoría mostró amplia experiencia y conocimiento en el estudio de las dinámicas sociales, ambientales y económicas de los cafetales. Hubo una

amplia participación de los investigadores dentro de los talleres del cual se derivaron diferentes colaboraciones interinstitucionales. Se resaltaron varias limitaciones del trabajo individual, en particular, que no toma en cuenta las experiencias de otros grupos y la ineficiencia del trabajo aislado. Finalmente, se lograron diversas colaboraciones entre los participantes de Biocafé, ya sin importar su filiación inicial para impulsar diversas iniciativas que continúan hasta la fecha. Entre ellas está la formación del Centro Agroecológico del Café con la participación de investigadores del CRUO y del CITRO. El objetivo del centro será promover una cultura de las buenas prácticas agroecológicas y de manufactura en los cafeticultores, para la obtención de café con estándares de calidad que cumplan con la normatividad para la obtención de certificaciones vigentes, mejorarlas, trabajando en conjunto investigadores y actores de la cadena del café y así hacer competitiva la oferta mexicana del café en los mercados estratégicos, y logrando beneficios que sirvan para el mejoramiento económico, social y ambiental de las regiones productoras.

Vinculación con las instituciones gubernamentales

La participación de funcionarios públicos en Biocafé tuvo esquemas de relación estereotipadas, caracterizadas por la justificación de la ineficiencia del sector, la falta de presupuesto y la complejidad de la cadena productiva. Algunos funcionarios justifican su trabajo en las cifras oficiales de apoyo al sector, el número de productores beneficiados y los volúmenes de producción obtenidos. Las propuestas de política pública no se presentaron con claridad y tampoco resultados convincentes en los principales proyectos como el Censo Cafetalero, la Denominación de Origen Café Veracruz y el Diagnóstico de Impacto Ambiental de la zona cafetalera. En nuestras reuniones se mostraron interesados en obtener nueva información de la biodiversidad de los cafetales y del trabajo de Biocafé. Estuvieron representadas diez instituciones: Consejo Regulador del Café, Veracruz A.C. (CRCVAC), con la Fundación Internacional de Investigación en Ciencias Sociales y Administración (FIICSA); Secretaría de Desarrollo Agricultura y Pesca (SEDARP) con la Dirección de Agricultura es su área del Sistema Producto Café; Instituto Veracruzano de Desarrollo (INVEDER); Consejo Veracruzano del Café (COVERCAFE); Co-

misión Veracruzana de Comercio (COVECA), de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR); Fundación PRODUCE, Veracruz A. C.; Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). En conjunto durante las reuniones de Biocafé estuvieron representadas 25 instituciones con 44 invitados. Sin embargo, no hubo mucho avance en la colaboración debido a cambios de personal en la administración y la falta de continuidad entre los asistentes y la dinámica de trabajo de Biocafé.

Investigación-acción: el esfuerzo de Biocafé

Autores como Carr y Kemmis (1988) argumentan que un proyecto puede considerarse de investigación-acción cuando se cumplen tres condiciones: a) que el proyecto se haya planteado como una práctica social, considerada como forma de acción estratégica susceptible de mejoramiento b) que dicho proyecto avance a través de una espiral de planeación, acción, observación y reflexión, todas ellas en funcionamiento e interrelación, y c) que el proyecto implique a los responsables de las prácticas en todos y cada uno de los momentos de la actividad, ampliando gradualmente la participación en el mismo, para incluir otros afectados por la práctica y mantener un control colaborativo del proceso.

El proyecto Biocafé tuvo dos líneas de organización para cumplir con las bases de la investigación-acción. La primera fue transformar la idea individual de investigación hasta el diseño de una propuesta colectiva, lo que implicó el liderazgo de académicos, sobre todo para evitar la generación de falsas expectativas entre los productores. La otra línea fue convocar a productores para discutir el proyecto Biocafé y conocer diferentes fincas para evaluar las posibilidades de integrar un proyecto participativo. Una vez aprobado el proyecto por el CONACYT, el trabajo de grupo permitió elegir en las reuniones mensuales las temáticas y organizar las acciones en ciclos anuales, para finalmente usar los Talleres de Productores como el instrumento de socialización de los resultados. Los métodos de indagación estuvieron orientados en tres intereses: los técnicos, prácticos y emancipativos (Habermas 1989), se reconoce el valor del consenso racional a través del discurso, en diálogos simétricos. Se sabe que un problema de la investigación-acción es que los implicados no forman grupo “de manera natural”. Los facilitadores se enfrentan a un delicado equilibrio entre estimular a los integrantes a lograr

los objetivos del proyecto y la resistencia al cambio (Schlemenson 2002).

La reflexión crítica de la biodiversidad en los cafetales se realizó en diferentes niveles; en un primer nivel los individuos que participan de la cafecultura, los productores, académicos y funcionarios públicos. El segundo nivel está enmarcado en el contexto de las relaciones más visibles: en la academia, entre investigadores y estudiantes; en la producción, entre dueños de finca y asesores técnicos; en la administración institucional para determinar los apoyos al sector. Durante el desarrollo del proyecto, algunos equipos de investigación recibieron críticas de colegas y productores por la falta de pertinencia de su trabajo, sobre todo al no considerar problemas de la producción del café, en otro sentido, otros equipos fueron estimulados para ampliar sus propósitos a posibilidades que no habían sido identificadas, por ejemplo, trabajar sólo con seis fincas obligatorias y el resto de ellas de manera opcional. Y el trabajo más enriquecedor se observó en la confianza de productores e investigadores para transferir y adaptar técnicas tanto para la investigación como para la producción.

La identificación de cambios reales es compleja, en particular la investigación-acción se reconoce como una arena para la acción política y social. Holtz (1989) cree en efecto que el aspecto más importante que distingue el paradigma crítico del positivista es que “nosotros estamos aquí para cambiar al mundo, no para estudiarlo” cit. post. (Kember y Grow 1992).

La labor del facilitador al comienzo del proyecto fue maximizar el apoyo en tanto minimiza la manipulación. A medio camino, mantener el interés del grupo fue la tarea más difícil. Al terminar los tres años de este financiamiento, la tarea de evaluación ocupaba nuestro tiempo, por un lado para cumplir los compromisos y arribar a nuevos horizontes como lo señala Bleger (1971) en otro bucle del trabajo grupal.

El éxito de Biocafé puede ser evaluado por la cantidad de miembros implicados, los conocimientos de la biodiversidad de los cafetales, mostrados en este libro, el intercambio de prácticas productivas de café entre los productores y el incremento de prácticas de conservación de la biodiversidad en las fincas. También por la relación costo beneficio y a fin de cuentas por el posible cambio en las políticas públicas. Sin subestimar el alcance de cualquier efecto “bola de nieve” en el mejoramiento de la conservación. Podemos señalar que el proceso generado por la experiencia de Biocafé

tiene gran potencial. Los resultados obtenidos después de tres años de trabajo indican altos niveles de entusiasmo y de compromiso, lo cual ha conducido a un cambio positivo.

RECOMENDACIONES

- Para continuar el proyecto Biocafé se sugiere trabajar con organizaciones de productores (grandes, medianas y pequeñas) que tengan fincas según el gradiente de intensificación en el manejo identificado (Capítulo 2), en áreas prioritarias de las micro cuencas de interés, para acceder al pago por servicios ambientales hidrológicos y de conservación de la biodiversidad. Esta propuesta difiere de los acuerdos entre individuos, y sin embargo, considera que facilitaría los modelos de transferencia de tecnología y permitiría un mayor impacto en los resultados, lo deseable sería aplicar las recomendaciones en las unidades de producción, establecer los parámetros antes de las sugerencias y monitorear los resultados a través del tiempo, en periodos de mediano plazo. Como por ejemplo, evaluar los rendimientos de café según el uso de agroquímicos y las prácticas de fertilización orgánica desde una perspectiva agroecológica que considere captura y ciclo de nutrientes, procesos de retención de suelos, y mantenimiento de la micro biota del suelo.
- Se recomienda ampliar los grupos de trabajo: mantener la investigación básica en estudios de biodiversidad, ampliar el grupo de investigación aplicada y un grupo de gestión y autonomía de los productores, con ello, se busca atender las necesidades de investigación y producción del proyecto de conservación de la biodiversidad en cafetales.
- Siguiendo el modelo aplicado en Biocafé, sería deseable que los estudios de la biodiversidad en los cafetales involucraran financieramente a productores, investigadores e instituciones públicas del sector para comprometer su participación y la aplicación de las recomendaciones en tareas de corto, mediano y largo plazo. Esto se podría dar a través de la creación de una organización civil de productores.
- Se propone divulgar los resultados de investigación con propuestas de política pública que

permitan el diálogo, el intercambio de información y de experiencias concretas entre el sector científico y el sector cafetalero.

- El proyecto Biocafé es un buen ejemplo de investigación-acción del cual podría derivar el desarrollo de criterios de calidad para evaluar y mejorar la vinculación de la investigación con el sector productivo (en particular del INECOL).

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a los 292 participantes de las reuniones de productores, su colaboración permitió mantener el grupo Biocafé. No menos importante fue la asistencia de los 12 líderes de las organizaciones de productores y el apoyo de los 79 colegas que estudian la caficultura. Mi reconocimiento a Robert Manson, Gerardo Hernández y Evodia Silva por la revisión al manuscrito, de igual manera a los evaluadores externos Steve Glieman, Lorena Soto y Erin Estrada por sus atinados comentarios.

REFERENCIAS

- Bartra A. 1996. *El México Bárbaro. Plantaciones y monterías del sureste durante el porfiriato*. México: El Atajo. 516 p.
- Bartra A. 1999. *El aroma de la historia social del café*. La Jornada del Campo. 28 de Julio.
- Bartra A. (comp.) 2002. *Mesoamérica. Los ríos profundos: Alternativas plebeyas al Plan Puebla-Panamá*. México: Instituto Maya, A.C. El Atajo y Casa Juan Pablos. 400 p.
- Bartra A. 2004. Mesoamericanos: recalentando una identidad colectiva. En: Ceceña E. (comp.). *Hegemonías y emancipaciones en el siglo XXI*. Buenos Aires: Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales. <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/cecena2/bartra.rtf>
- Bauleo A. 1974. *Ideología, Grupo y Familia*. Buenos Aires: Ed. Kargieman. 116 p.
- Bleger J. 1971. *Grupos Operativos en la enseñanza*. Buenos Aires. Ed. Nueva Visión. 248 p.
- Bleger J. 1980. *Temas de Psicología: Grupos*. Buenos Aires: Ed. Nueva Visión. 117 p.
- Cafés de México. 2006. *SAGARPA entregó el FIDECAFE a la Asociación Mexicana de la Cadena Productora de Café A. C.* Edición especial –diciembre-. <http://www.cafesdemexico.com> Consultada en febrero de 2007.
- Carr W, Kemmis S. 1988. *Teoría crítica de la enseñanza. La investigación acción en la formación del profesorado*. Barcelona: Martínez Roca. 245 p.

- Chayanov A. 1985. *La organización de la unidad económica campesina*. Ediciones Nueva Visión: Buenos Aires. 342 p.
- Ceja M. 2006. *Tiene México oportunidad de aumentar exportación de café*. La Crónica. 22 de Marzo.
- Contreras A (coord.) Monserrat I, Soto P, Lobillo P, Garcés E, Nicolás P. 1999. *Dicen los ganaderos: taller para el cuidado de la Dehesa*. Córdoba: Instituto de Sociología y Estudios Campesinos ISEC, Universidad de Córdoba, Sociedad Cooperativa Andaluza Corpedroches. 132 p.
- Contreras A. 2000. *Estrategias de gestión de la Dehesa: Percepción y manejo del arbolado en el valle de los pedroches (Córdoba)*. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, Escuela Técnica de Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. 206 p.
- Contreras A, Hernández G. 2005. *Estudio de la biodiversidad de los cafetales y su contribución a la sustentabilidad*. 5° Congreso de la Asociación Mexicana de Estudios Rurales, Oaxaca, Mayo 25 al 28. Balance y perspectivas del campo mexicano, a una década del TLCAN y del Movimiento Zapatista. Versión Electrónica.
- Contreras A, Salas M. 1996. *Educación y organización comunitaria*. México: Centro de Capacitación Integral para Promotores Comunitarios e Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán. 118 p.
- Contreras A, Medellín S (coord.). 1994. *Plan comunitario de manejo de recursos naturales del ejido Veinte de Abril (Joya de Salas)*. México: Instituto de Ecología A. C. y Terra Nostra A. C. 88 p.
- Córdova S. 2005. *Café y sociedad en Huatusco Veracruz: formación de la cultura cafetalera (1870-1930)*. México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, 451 p.
- Cornelius W, Myre D. 1998. *The transformation of rural Mexico. Reforming the ejido sector*. University of California, San Diego. 437 p.
- De Grammont H. 2005. *Del desarrollo interno a la globalización: las transformaciones del campo mexicano*. 5° Congreso de la Asociación Mexicana de Estudios Rurales, Oaxaca. Mayo 25 al 28. Balance y perspectivas del campo mexicano, a una década del TLCAN y del Movimiento Zapatista. Disco Compacto.
- De-Janvry A, Sadoulet E. 1997. *El TLC y la agricultura: una evaluación inicial*. Investigaciones Económicas, UNAM, septiembre. p. 13-60.
- Dove R. 1992. The dialectal history of jungle in Pakistan: an examination of the relationship between nature and culture. *Journal of Anthropological Research* 48 3:231-253
- Dwyer P. 1996. The Invention of Nature. En: Ellen, R. y K. Fukui (eds.) *Ecology, Culture and Domestication*. Berg, Oxford: Redefining Nature. p 157-186.
- Eakin H, Tucker C, Castellanos E. 2006. Responding to the coffee crisis: a pilot study of farmers' adaptations in Mexico, Guatemala and Honduras. *Geogr. J.* 172, 156-171.
- Foladori G. 2001. *Controversias sobre sustentabilidad: la coevolución sociedad naturaleza*. México: Universidad Autónoma de Zacatecas, Miguel Ángel Porrúa. 229 p.
- Freire P. 1970. *Pedagogía del oprimido*. Buenos Aires: Siglo XXI editores. 256 p.
- Freire P. 1993. *Pedagogía de la esperanza. Un reencuentro con la pedagogía del oprimido*. México: Siglo XXI. 232 p.
- Fox J. 2001. Evaluación de las coaliciones binacionales de la sociedad civil a partir de la experiencia México Estados Unidos. *Revista Mexicana de Sociología* 63(5):207-264.
- Galeski B. 1974. From peasant to farmer. Social changes in rural poland. In: *Polish Sociology*. Wroclaw, The polish sociological Association. p. 231-243.
- Gobbi J. 2000. Is biodiversity-friendly coffee financially viable? An analysis of five different coffee production systems in western El Salvador. *Ecological Economics* 33:267-281.
- Gómez R. 2003. Situación de la red café, oportunidades de desarrollo en México. *Boletín Informativo FIRA*. No. 320 Vol. XXXV 105 p.
- Gordon C, Manson R, Sundberg J, Cruz-Alarcón A. 2007. Biodiversity, profitability, and vegetation structure in a Mexican coffee agroecosistem. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118:256-266.
- Habermas J. 1989. *Teoría de la Acción Comunicativa*, Madrid: Taurus. 493 p.
- Kember D, Gow L. 1992. Action research as a form of staff development in higher Education. *Higher Education* 23:297-310.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2003. Resultados del VIII Censo Ejidal 2001. INEGI. 29 p.
- Lazos E. 2005. *Dimensiones sociales de la conservación de los maíces locales y de la introducción de maíz transgénico*. 4° Congreso de la Asociación Mexicana de Estudios Rurales: El cambio de la sociedad rural mexicana ¿Se valoran los recursos estratégicos? Morelia, Michoacán, del 20 al 23 de junio de 2003. Versión electrónica.
- Leff E, Carabias J (coord.). 1993. *Cultura y Manejo sustentable de los recursos naturales*. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades. México: UNAM y Miguel Ángel Porrúa. 278 p.
- López-Austín A. 1999. *Breve historia de la tradición religiosa mesoamericana*. México: UNAM, Instituto de Investigaciones Antropológicas, 120 p.
- Manson R. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques* 10(1):3-20.
- Masera O, López S. 2000. *Sustentabilidad y sistemas campesinos: cinco experiencias de evaluación en el México rural*. México: Mundi-Prensa. 346 p.
- Mendieta L. 1986. *El problema agrario de México y la Ley Federal de Reforma Agraria*. México. Porrúa. 667 p.

- Moguel P, Toledo V. 1996. El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Ciencias* 43:40-52.
- Moguel P, Toledo V. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of México. *Conservation Biology* 13:11-21.
- Moguel P, Toledo V. 2004. Conservar produciendo: biodiversidad, café orgánico y jardines productivos. *Biodiversitas* 55:1-7
- Morin E, Brigitte A. 1993. *Tierra patria*. Barcelona: Ed. Kairós. 232 p.
- Nativitas A. 2006. *Organización y participación de los cafecultores en la producción de café orgánico. El caso de la Unión de productores de la montaña de OCOZACA, Ixhuatlán del café, región de Huatusco, Veracruz*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Sociología, Universidad Veracruzana. 99 p.
- Nestel D. 1995. Coffee in Mexico: international market, agricultural landscape and ecology. *Ecological Economics* 15:165-178.
- Nolasco M. 1985. *Café y sociedad en México*. México: Centro de Ecodesarrollo. 454 p.
- Norgaard R. 1994. *Development Betrayed: The end of progress and a coevolutionary revisioning of the future*. London: Routledge. 280 p.
- Núñez C. 2005. *Ejido, caña y café: política y cultura campesina en el centro de Veracruz*. México: Universidad Veracruzana, 365 p.
- Ortiz G, Vargas M, Mendoza M, Ojeda M, Trujillo L. 2004. Análisis comparativo de la producción-demanda del café en el mercado internacional (1980-2003). *Inter-ciencia* 29:621-625.
- Ortiz M. 2007. *Transición campesina: del cultivo del café a la urbanización de la tierra*. Tesis de Licenciatura de Sociología. Universidad Veracruzana 86 p.
- Perfecto I, Rice R, Greenberg R, Van Der Voort M. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *Bioscience* 46:598-607.
- Perfecto I, Vandermeer J, Mas A, Soto Pinto L. 2005. Biodiversity, yield, and coffee certification. *Ecological Economics* 54: 435-446.
- Pichón-Riviére E. 1971. *El proceso Grupal*. Buenos Aires: Ed. Nueva Visión. 156 p.
- Porter R. 2000. Politic-economic restructuring and Mexico's small coffee farmers. En: R Tardanico, M Rosenberg (eds.) *Global restructuring and regional transformation in the U. S. South and Mexican South. Poverty and Development*, Routledge, New York. p 111-138
- Potvin C, Owen C, Melzi S, Beaucage P. 2005. Biodiversity and modernization in four coffee-producing villages of Mexico. *Ecology and Society* 10(1):18. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art18/>
- Rice R, Ward J. 1996. *Coffee, conservation, and commerce in the Western Hemisphere: How individuals and institutions can promote ecologically sound farming and forest management in the North Latin American*. Washington: Natural Resources Defense Council and Smithsonian Migratory Bird Center, 40 p.
- Rice R. 2001. Noble goals and challenging terrain: organic and fair trade coffee movements in the global marketplace. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 14(1):39-66.
- Rist G. 2002. *El desarrollo: historia de una creencia occidental*. Madrid: Editorial los libros de la Catarata, 313 p.
- Rubio B. 1996. Las organizaciones independientes en México: semblanza de las opciones campesinas ante el proyecto neoliberal. En: Carton H (coord). *Neoliberalismo y organización social en el campo mexicano*. Plaza y Valdés, México. p. 113-163.
- Rubio B. 2004. La fase agroalimentaria global y su impacto sobre el campo mexicano. *Comercio Exterior* 54(11):948-956.
- Santoyo H, Díaz S, Rodríguez B. 1996. *Sistema agroindustrial café en México: diagnóstico, problemática y alternativas*. México: Universidad Autónoma de Chapingo. 157 p.
- Schlemenson A. 2002. *La estrategia del talento. Alternativas para su desarrollo en organizaciones y empresas en tiempos de crisis*. Buenos Aires: Paidós. 251 p.
- Schmithüsen F, Yves K, Klaus S. 1998. Actitudes de la población ante el bosque y sus prestaciones sociales. *Agricultura y Sociedad* 85(1):43-66.
- Shanin T. 1974. *Naturaleza y lógica de la economía campesina*. Cuadernos ANAGRAMA. 85 p.
- Simpson M. 1999. *Human activity, nature and the 'natural/not-natural' dichotomy*. Master of Arts in Society, Science & Nature. Lancaster University. 64 p. <http://www.ualberta.ca/~mjs14/courses/MAfiles/DISSERTATION.pdf> Consultada en febrero de 2007.
- Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2006. Disponible en línea. http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comfichedo.html (consultada en febrero de 2007).
- Soto-Pinto L, Romero-Alvarado Y, Caballero-Nieto J, Segura-Warnholtz G. 2001. Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee-plantations in Northern Chiapas, Mexico. *Rev. Biol. Trop.* 49(3-4):977-987.
- Vitousek PM, Mooney HA, Lubchenco J, Melillo JM. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277: 494-499.
- Waridel L, Meloche F, Kirk J, St-Pierre E, Dueñas R, Martínez L, Campero CH y VanderHoff F. 2001. *Un café por la causa. Hacia un comercio justo*. Equiterre, 97 p.
- Wolf E, Hansen E. 1967. Caudillo politics: a structural analysis. *Comparative studies in society and history* 9(2):168-179.
- Wolf E, Mintz S. 1975. Haciendas y plantaciones en Mesoamérica y Las Antillas. En: Florescano E. *Haciendas, latifundios y plantaciones en América Latina*. México: Ed. Siglo XXI. p. 493-531.

Ysunza A (coord.), Salas M, Contreras A, Diez-Urdanivia S, Martínez M, López L, Martínez E, Leyva J y Beltrán A. 1996. *¿No que no?: una experiencia con promotores comunitarios de*

salud en Oaxaca. México: Centro de Capacitación Integral para Promotores Comunitarios, CECIPROC e Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán. 213 p.

Estructura y diversidad de la vegetación leñosa

GUADALUPE WILLIAMS-LINERA Y ANA LÓPEZ-GÓMEZ

Resumen

Se determinó la estructura de la vegetación y diversidad de especies de árboles ≥ 5 cm dap en 15 fincas cafetaleras agrupadas como monocultivos bajo sombra (MS), policultivos sencillos (PS) y policultivos diversos (PD). Las fincas MS presentaron mayor densidad (220 individuos/ha) y menor área basal (7.96 m²/ha), altura media (6.7 m) y máxima (11.2 m); las fincas PS tuvieron valores intermedios (202, 13.5 m²/ha, 9.3 m y 15.4 m, respectivamente), mientras que las fincas PD tuvieron la menor densidad (185) y la mayor área basal (14.7 m²/ha), altura media (9.9 m) y máxima (17.1 m). En total se registraron 2833 árboles utilizados como sombra pertenecientes a 107 especies (83 nativas, 24 no nativas). La mayor riqueza de árboles se registró en PD con 88 especies (69 nativas, 19 no nativas), de las cuales 40 especies nativas fueron exclusivas. MS tuvo 28 especies (22 nativas, 6 no nativas) y PS tuvo 43 especies (34 nativas, 9 no nativas), pero sólo tuvieron 4 y 9 nativas exclusivas. Los cafetales bajo sombra, especialmente PD, conservan parte de la biodiversidad de árboles nativos a nivel regional y la estructura y diversidad de los tres tipos de manejos proporcionan un hábitat con potencial para conservar la biodiversidad regional de plantas.

Abstract

Vegetation structure and species diversity for trees ≥ 5 cm dbh were studied in 15 coffee agroecosystems. Coffee farms were classified as monoculture shaded coffee (MS), simple polyculture (SP) and diverse polyculture (DP). MS displayed the highest tree density (220 individuals/ha) and lowest basal area (7.96 m²/ha), mean (6.7 m) and maximum (11.2 m) height; SP farms showed intermediate values (202, 13.5 m²/ha, 9.3 m and 15.4 m, respectively), whereas DP farms showed the lowest density (185) and highest basal area (14.7 m²/ha), mean (9.9 m) and maximum (17.1 m) height. In total, 2833 shade trees were recorded belonging to 107 species (83 natives, 24 non-natives). The highest richness was recorded in DP with 88 tree species (69 natives, 19 non-natives) and 40 of those native species were exclusive to DP. MS had 28 species (22 natives, 6 non-natives) and SP had 43 species (34 natives, 9 non-natives), but they displayed only 4 and 9 exclusive native species. Shade coffee farms, particularly DP, conserve part of the diversity of native tree species. The structure and composition of the three management types create habitats with potential to preserve the regional plant biodiversity.

INTRODUCCIÓN

Los cafetales forman una parte importante del paisaje en el centro de Veracruz. En los cafetales bajo sombra, los árboles utilizados como sombra para los cafetos forman la estructura y el ambiente apropiado para proveer un refugio a la biodiversidad de diversos organismos tanto vegetales (hierbas del sotobosque, epífitas y helechos), como animales (mamíferos, aves, anfibios, reptiles o artrópodos) (Perfecto *et al.* 1996, Capítulos 7-13). La sombra proporcionada por un dosel de árboles en los cafetales afecta las condiciones microambientales y ambientales de la región, y contribuye a la conservación de agua y suelo, al aporte de materia orgánica para el suelo, a la producción de hojarasca y a la regulación de la temperatura, la humedad y el viento, ofreciendo microambientes donde pueden mantenerse diversos organismos del bosque natural (Jiménez-Ávila y Gómez-Pompa 1982, Barradas y Fanjul 1986, Beer *et al.* 1998). La sombra de los cafetos es importante tanto económica como culturalmente para los propietarios de los cafetales, ya que las especies pueden ser utilizadas como alimento, como producto de valor económico (plátanos, cítricos, gasparitos, plantas ornamentales, tierra de hoja, plantas melíferas) o como material para construcción y leña (e.g. Cházaro-Basáñez 1982, Bandeira *et al.* 2002, Soto-Pinto *et al.* 2007).

Los pocos estudios sobre la diversidad de plantas leñosas en cafetales indican que el número de especies de árboles (diversidad alfa) de las fincas individuales puede ser baja, tanto en el centro de Veracruz (Hernández-Córdoba 1979, Escamilla *et al.* 1994), como en Oaxaca (Bandeira *et al.* 2005) o Chiapas (Soto-Pinto *et al.* 2001), pero el conjunto de los cafetales regionales es muy diverso por una tasa alta de recambio (diversidad beta). Esta situación es similar a la alta diversidad beta de los fragmentos de bosque de niebla (Williams-Linera 2002) o acahuales y cafetales (Williams-Linera *et al.* 2005) en la región del centro de Veracruz.

La clasificación de cafetales tradicionalmente se ha basado en el manejo tomando en cuenta la cantidad de insumos y labores, o la complejidad estructural como la altura del dosel, el número de estratos y la diversidad de especies de la vegetación utilizada para dar sombra (Moguel y Toledo 1999; Capítulo 2). La clasificación podría ser más clara si se basara únicamente en el tipo de sombra utilizado, es decir, en la composición y diversidad de árboles del cafetal bajo sombra, ya

que el tipo de sombra utilizado es fundamental para distinguir entre tipos de manejo de cafetales, y en dado caso para su certificación (Mas y Dietsch 2004). Sin embargo, no hay consensos sobre cómo definir al tipo de sombra, ni hay tanta investigación sobre las especies de árboles como la hay para otros taxa como aves y artrópodos. Por lo tanto, para el presente estudio, la clasificación se basa en el tipo de sombra e incluye finca especializada o monocultivo bajo sombra (MS), finca con policultivo sencillo (PS) y finca con policultivo diverso (PD). Las fincas especializadas o monocultivos bajo sombra (MS) son cafetales que típicamente utilizan unas pocas especies de árboles sembrados a densidades bajas y seleccionadas con el único propósito de proveer de sombra a los cafetos, lo cual resulta en un dosel muy especializado y simplificado. Las fincas con policultivo sencillo (PS) y diverso (PD) son fincas bajo sombra que mantienen muchas especies de árboles que pertenecían al bosque nativo y los cafetos crecen junto con numerosas especies de plantas útiles formando un sistema de manejo de especies nativas y exóticas, con la meta de aumentar ganancias y disminuir costos de producción. En las fincas con PS, los productores usan variedades mejoradas, agroquímicos y como sombra introducen plantaciones de *Inga* spp. y de otras pocas especies comerciales como cítricos. En el manejo de PD, los propietarios quieren obtener muchos productos del cafetal, así las fincas son resultado de acumular especies de árboles útiles a través del tiempo y de tomar ventaja de los árboles nativos ya presentes en sus tierras. Las fincas rústicas en sentido estricto (*sensu* Moguel y Toledo 1999) no se encontraron en nuestra región de estudio, y las llamadas así en este libro (MIR y VBM) tienen un manejo más bien de policultivo diverso, por lo cual se les incluyó en esa categoría.

El primer objetivo de esta investigación fue determinar la estructura de la vegetación de los cafetales en términos de área basal, densidad y altura del dosel de la región Coatepec-Huatusco, Veracruz, con el propósito de relacionarla con los tipos de manejo definidos *a priori* como MS, PS y PD. El segundo objetivo fue determinar la composición de especies de árboles con un diámetro a la altura del pecho (dap) ≥ 5 cm, la diversidad alfa de cada una de las fincas cafetaleras y la diversidad beta de cada tipo de manejo. El tercer objetivo fue determinar los rangos de estructura de la vegetación y de diversidad de cada uno de los tres tipos de manejo y compararlas con los bosques de referencia.

MATERIAL Y MÉTODOS

En la región cafetalera de Coatepec-Huatusco, Veracruz, se seleccionaron 15 fincas cafetaleras con diversos tipos de sombra para café en las cuales se muestrearon un total de 124 lotes (cuadrados dentro de círculos con 50 m de diámetro). También se muestrearon 20 lotes en dos bosques, con la finalidad de tener una referencia de la vegetación nativa de la región (Cuadro 4.1). En cada lote, se midieron todas las plantas leñosas con dap \geq 5 cm, y se identificaron a nivel de especie o morfoespecie. A partir de esos datos se estimó la densidad de individuos (árboles/ha), el área basal (m^2/ha) y la altura promedio y máxima (m) del dosel a nivel de lote, de sitio y de tipo de uso del suelo (los tres tipos de manejo en cafetal y el bosque).

La diversidad alfa se determinó como número de especies de árboles a nivel de sitio. Debido a que el número de lotes utilizado y el área muestreada para cada tipo de manejo fueron diferentes, la riqueza de especies no se puede comparar directamente, entonces para determinar si las diferentes riquezas observadas son debidas al tipo de uso del suelo o son sólo consecuencia de las diferencias en área de muestreo, se utilizó la técnica denominada “rarefacción” (Gotelli y Colwell 2001). La rarefacción consiste en graficar las curvas de acumulación de especies utilizando el número de individuos y no el número de lotes muestreados y comparar el número de especies en las curvas para el mismo número de individuos en todos los casos. Para ello se utilizó el programa EstimateS versión 7.5.0 (Colwell 2005). La diversidad beta se estimó como similitud de Jaccard Clásico, para conocer el número de especies compartidas entre los tipos de uso del suelo y entre todos los sitios de la región estudiada.

Los datos de las variables estructurales de densidad, área basal, altura media y máxima se evaluaron para determinar si se distribuían normalmente mediante la prueba de Shapiro Wilk. En los casos necesarios, los datos se transformaron logarítmicamente para alcanzar una distribución normal. Posteriormente, se llevaron a cabo análisis de varianza anidados, con sitios anidados dentro de tipo de uso del suelo. Cuando se encontraron diferencias significativas se realizaron pruebas de comparación de medias mediante la prueba de Tukey-HSD. Los análisis estadísticos se hicieron utilizando el programa estadístico JMP versión 3.2.2 (SAS 1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura de la vegetación

La densidad, área basal, altura media y máxima de árboles \geq 5 cm dap por sitio y por tipo de uso de suelo se presentan en el Cuadro 4.1. La estructura de la vegetación de los cafetales varía mucho a nivel de fincas, pero aún así se detectaron diferencias significativas entre los tipos de manejo considerados. La densidad y el área basal de los árboles fue significativamente diferente entre fincas ($F = 7.05, 13.84$, respectivamente, $gl = 12, P < 0.001$) y entre tipos de manejo ($F = 5.56, 38.23$, respectivamente, $gl = 2, P = 0.005$); el MS tuvo una densidad de árboles mayor y un área basal menor que ambos tipos de policultivos. También la altura media y máxima fueron diferentes entre fincas ($F = 23.29, 50.17$, respectivamente, $gl = 2, P < 0.001$) y tipos de manejos ($F = 60.59, 18.04$, respectivamente, $gl = 12, P < 0.001$). La altura fue menor en MS que en los policultivos (Cuadro 4.1).

Al comparar la densidad, área basal, altura media y máxima de cada tipo de manejo con las de los bosques de referencia, se encontraron diferencias significativas en todas esas variables ($F = 135.38, 14.64, 11.05, 24.04$, respectivamente, $gl = 2, P < 0.001$). Los bosques presentan mayor densidad, área basal y altura máxima que todos los cafetales; sin embargo, solamente tuvieron una altura media mayor a la de fincas MS, pero similar a la de ambos tipos de policultivo.

En este estudio se tomaron como referencia dos sitios de bosque, éstos tienen los valores de estructura más bajos que otros fragmentos de bosque del centro de Veracruz y además se encuentran a la altitud más baja dentro del rango de distribución de este tipo de vegetación (Williams-Linera 2002). De hecho, la estructura en estos cafetales se asemeja más a la de bosques sucesionales de menos de 17 años de abandono aunque localizados a altitudes mayores (Muñiz-Castro *et al.*, datos no publicados). Debido a que tanto el cafetal como el bosque son sistemas muy heterogéneos se necesitaría un número mucho más grande de unidades de muestreo para delimitar estructuras y completar los inventarios dentro de cada tipo de manejo.

Composición florística en cafetales

En los cafetales, en un área muestreada total de 15.19 ha correspondiente a 124 lotes, se registraron 2833 plantas de 107 especies de árboles \geq 5 cm dap, de

Cuadro 4.1. Riqueza y estructura de la vegetación de las fincas cafetaleras con sombra y dos bosques en la región Coapetec-Huastusco, Veracruz. Los tipos de manejo considerados son monocultivo bajo sombra (MS), policultivo sencillo (PS) y diverso (PD). Los datos que se presentan son siglas de la finca, número de lotes muestreado y área muestreada (ha). Los valores para árboles ≥ 5 cm dap por sitio de estudio, manejo y total son número de individuos, riqueza observada (S) y especies nativas entre paréntesis, densidad (árboles/ha), área basal (m^2/ha), y altura media y máxima (m). Los valores estructurales son media y un error estándar (es).

No.	Sitio	No. lotes	Área muestreo	No. individuos	S obs (nativas)	Densidad Ind/ha (es)	Área basal m^2/ha (es)	Altura) media (es)	Altura máxima promedio (es)
Monocultivo bajo sombra									
1	ESM	10	1.225	235	13 (10)	192 (22.2)	12.4 (1.6)	10.4 (0.5)	17.8 (1.1)
2	MTZ	6	0.735	122	7 (6)	166 (26.6)	3.8 (0.7)	4.2 (0.1)	7.9 (0.8)
3	VCS	10	1.225	316	11 (9)	258 (8.4)	8.0 (0.4)	6.4 (0.2)	11.2 (1.1)
4	VSE	10	1.225	322	13 (12)	262 (12.4)	7.7 (0.8)	5.5 (0.2)	7.9 (0.5)
Fincas MS		36	4.410	995	28 (22)	220 (24)	8.0 (1.8)	6.7 (1.3)	11.2 (2.3)
Policultivo sencillo									
5	ARM	10	1.225	183	20 (16)	150 (5.9)	28.2 (4.4)	10.1 (0.7)	19.5 (0.7)
6	AUR	5	0.612	98	13 (11)	160 (11.7)	15.0 (0.9)	10.6 (0.6)	16.8 (0.6)
7	AXO	3	0.367	98	11 (8)	267 (22.2)	5.8 (0.7)	6.3 (0.4)	9.7 (1.7)
8	MOR	5	0.612	120	11 (9)	196 (15.2)	7.0 (0.4)	10.0 (0.4)	14.1 (0.2)
9	ORD	10	1.225	175	17 (13)	142 (10.6)	12.9 (1.2)	10.9 (0.8)	19.2 (1.3)
Fincas PS		33	4.042	674	43 (34)	202 (23)	13.5 (4.0)	9.3 (0.8)	15.9 (1.8)
Policultivo diverso									
10	ALU	5	0.612	183	30 (23)	299 (21.3)	11.8 (1.8)	7.9 (0.3)	13.3 (0.9)
11	MIR	11	1.347	177	37 (31)	132 (16.1)	17.1 (2.0)	12.4 (1.1)	20.6 (0.8)
12	ONZ	10	1.225	207	29 (21)	168 (19.7)	12.6 (1.6)	7.4 (0.2)	15.8 (1.1)
13	PAN	9	1.102	264	32 (26)	239 (33.5)	9.1 (1.2)	6.4 (0.3)	12.1 (0.5)
14	VBM	10	1.225	186	22 (19)	151 (11.2)	16.3 (1.4)	14.7 (1.1)	21.5 (0.8)
15	ZOP	10	1.225	147	21 (18)	120 (8.0)	21.3 (1.9)	10.8 (0.7)	19.4 (0.7)
Fincas PD		55	6.737	1164	88 (69)	185 (28)	14.7 (1.8)	9.9 (1.3)	17.1 (1.6)
TOTAL FINCAS		124	15.190	2833	107 (83)	193 (14.7)	12.6 (1.6)	8.9 (0.7)	15.1 (1.2)
Bosques									
16	CAÑ	10	0.612	412	53 (51)	684 (78.1)	29.3 (4.2)	10.9 (0.4)	25.6 (0.8)
17	PAR	10	0.612	363	22 (21)	593 (35.6)	18.0 (2.8)	9.2 (0.3)	17.5 (0.9)
TOTAL BOSQUES		20	1.225	781	62 (59)	638 (46)	23.6 (5.6)	10.1 (0.8)	21.5 (4.1)

las cuales 83 son especies nativas y 24 especies no nativas al bosque mesófilo o tropical subcaducifolio. En los lotes muestreados en los bosques se registraron 62 especies de árboles, pero sólo un porcentaje relativamente pequeño de esas especies (27%) se encontró también en los cafetales muestreados, así que, para este estudio se alcanzó un inventario total de 153 especies de árboles.

En las fincas, las familias con mayor número de especies fueron Leguminosae (21 especies), Moraceae (9 especies), Lauraceae (6 especies), Solanaceae (5) y Anacardiaceae, Euphorbiaceae, Fagaceae, Meliaceae y Myrtaceae (4 especies cada una). Las especies más frecuentes fueron *Inga vera* (vainillo, chalahuite), *Citrus* spp. (cítricos), *Trema micrantha* (ixpepe), *I. jinicuil* (jinicuil), *Enterolobium cyclocarpum* (guanacastle, orejón), *Heliocar-*

pus donnell-smithii (jonote), *I. latibracteata* (chalahuite) y *Alchornea latifolia* (carne de caballo), varias de ellas son nativas al bosque regional, lo que les confiere importancia en términos de conservación (Apéndice 4.1). De hecho, Soto Pinto *et al.* (2007) identificaron en Chiapas un grupo de especies de árboles consideradas por los finqueros como preferidas para ser utilizadas como sombra, pero menos de la mitad de las especies registradas en las fincas se consideran como las más apropiadas para usarse como sombra de café. Esto demuestra que los finqueros retienen un amplio rango de árboles y arbustos en sus plantaciones teniendo en cuenta no sólo intereses comerciales sino también su contribución al funcionamiento del ecosistema.

Algunos árboles utilizados como sombra en cafetales tienen un importante papel ecológico en el sistema, especialmente aquellos que tienen frutos que sirven como recurso alimenticio para animales vertebrados. De las especies abundantes hay algunas con fruto pequeño y colorido (*Alchornea latifolia* o *Trema micrantha*) que son dispersadas por aves (Galindo-Gonzalez *et al.* 2000, Carlo *et al.* 2004) y otras con fruto grande y carnoso (*Ficus* spp. y *Psidium guajava*) consumidos por murciélagos y aves (Estrada y Fleming 1986). Además de recursos alimenticios, las plantas de los cafetales también proveen de sitios de anidamiento, por ejemplo hormigas en *Psidium guajava* (Armbrecht *et al.* 2004). Asimismo proveen de soporte a plantas epífitas, en particular aquellas especies que tienen un área basal grande como *Lonchocarpus guatemalensis* o *Enterolobium cyclocarpum*, comunes en policultivos sencillos.

Diversidad alfa en cafetales

La diversidad alfa entendida como número de especies varió entre fincas, pero hubo una tendencia consistente a un aumento en la diversidad relacionado con el tipo de manejo que promueve una mayor complejidad estructural de la vegetación utilizada como sombra. De esta manera, las fincas de MS tuvieron entre 7 y 13 especies de árboles, las PS entre 11 y 20, las fincas de PD alcanzaron el mayor número de especies de árboles fluctuando entre 21 y 37 especies diferentes, pero los bosques tuvieron 22 y 53 especies de árboles (Cuadro 4.1; Apéndice 4.1). La misma tendencia se observó al considerar la diversidad total por tipo de manejo: los cafetales de tipo MS tuvieron una riqueza de sólo 28 especies diferentes, los PS alcanzaron en conjunto una riqueza de 43 especies, mientras que los

cafetales de tipo PD presentaron la mayor diversidad con 88 especies de árboles de sombra, superando a la diversidad registrada en bosques (4.1).

Cuando en la clasificación de fincas se incluye tanto el factor estructura como el factor del manejo, tal como se propone en el capítulo 2, la tendencia a la disminución de la riqueza en un gradiente de intensificación de manejo se mantiene de forma general para seis sitios: cuatro cafetales de sombra, un cafetal de sol y un bosque. Aunque un sitio (ORD) muestra menor riqueza de plantas que el esperado por su posición en el gradiente de manejo (Cuadro 4.2). Cabe señalar que en este capítulo no se reportan datos sobre el cafetal de sol, porque nuestro interés está en evaluar la vegetación de sombra y en ese cafetal no se registraron plantas de sombra en los puntos de muestreo.

Rarefacción

La riqueza de especies por tipos de uso de suelo se obtuvo a partir del muestreo de áreas de diferente tamaño, por lo tanto, la comparación más apropiada es aquella que controla las diferencias a un nivel de abundancia común a través de la rarefacción (véanse métodos). Las curvas de rarefacción indicaron que al comparar la riqueza de todas las especies juntas (nativas y no nativas) en los cuatro usos del suelo usando un número común de individuos, en este caso de 674 individuos, la menor riqueza se presenta en el MS con 24 especies, seguido por el PS con 43 especies, el bosque con 62 especies y el PD, conteniendo 71 especies de árboles (Figura 4.1). Las curvas de rarefacción para sólo especies de árboles nativos también presenta esta misma tendencia con una riqueza mayor en PD seguido de bosque, PS y MS.

La alta diversidad del bosque mesófilo de montaña se debe a que la composición de especies de árboles cambia notablemente de un sitio a otro, por lo tanto, al incluir sólo dos fragmentos de bosque no se logra

Cuadro 4.2. Número total de especies de plantas leñosas según el grado de intensificación del manejo en los sitios del proyecto BIOCAFÉ (derecha a izquierda): un bosque (CAÑ), cuatro cafetales bajo sombra (MIR, ORD, ONZ, VSE), y un cafetal de sol (SOL) en la región Coatepec-Huatusco, Veracruz.

SOL	VSE	ONZ	ORD	MIR	CAÑ
0	13	29	17	37	53

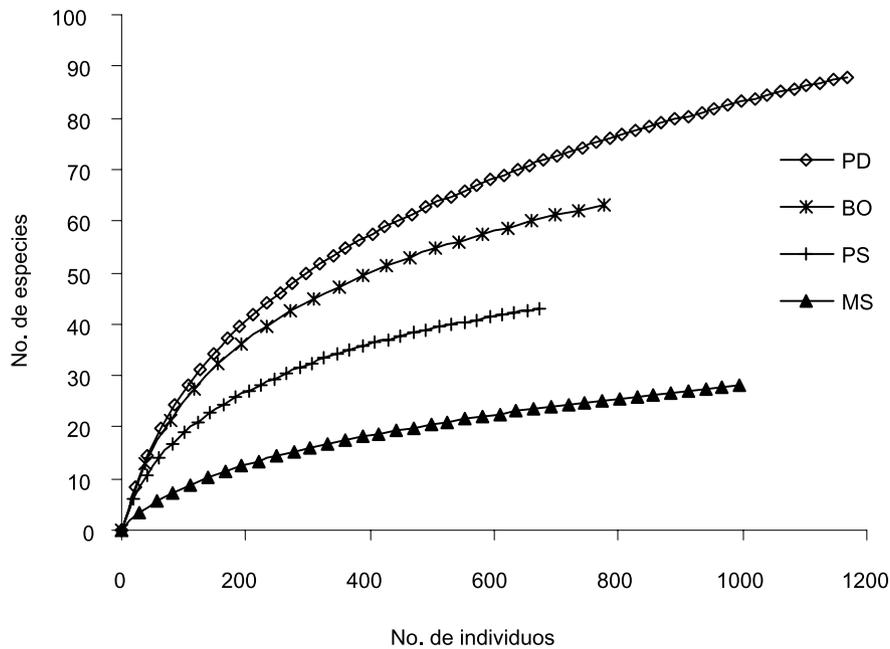


Figura 4.1. Curvas de rarefacción para comparar riqueza de especies (nativas y no nativas) registradas en monocultivo bajo sombra (MS), policultivo sencillo (PS), policultivo diverso (PD) y bosque (BO) en la región Coatepec-Huatusco, Veracruz.

reflejar la inmensa diversidad real de este tipo de vegetación. Ello podría explicar parcialmente el hecho de que los policultivos diversos presentan mayor riqueza que los bosques, pero es posible que debido a que los PD contienen especies nativas y especies introducidas por los finqueros, en verdad lleguen a presentar una riqueza mayor que los fragmentos de bosque.

Diversidad beta o similitud

El análisis de similitud de Jaccard indica que la composición de especies arbóreas de las fincas es muy diferente, en promedio es de 0.20 para las 15 fincas y el valor máximo es de 0.40, lo que quiere decir que hay un recambio elevado de especies entre fincas. Muchas fincas comparten sólo 3 o 4 especies y muy pocas comparten 10 o más (Cuadro 4.3). La similitud al interior de cada uno de los tipos de manejo también fue baja ya que tuvo un promedio de 0.2 para los tres tipos de manejo (MS, PS y PD) por separado, lo que indica que hay mucha heterogeneidad en la composición de las especies dentro de un mismo tipo de manejo; aunque entre los cafetales de policultivo diverso es en donde más especies se llegan a compartir (Cuadro 4.3). Todo ello da señal de que los criterios de selección de especies

para los cafetales son muy variables y nos indica cuán difícil puede ser la clasificación de cafetales.

La Figura 4.2 hace énfasis en que el tipo de manejo de PD mantiene no sólo mayor número de especies de árboles nativos y no nativos, sino que 40 especies de árboles nativos se encuentran exclusivamente en este tipo de manejo y no en fincas clasificadas dentro de los otros dos tipos de manejo (PS y MS), las cuales tienen muy pocas especies de árboles exclusivas.

La similitud de las fincas individuales con los bosques es notablemente baja, el máximo valor de similitud es de 0.11 y solamente algunas fincas de policultivo diverso comparten más de 4 especies con los bosques. Aunque la similitud de Jaccard de las fincas con los bosques es muy baja, la composición de especies nativas en cada tipo de manejo de los cafetales muestra un porcentaje alto con respecto al total (78, 79 y 67% para MS, PS y PD, respectivamente) (Cuadro 4.1), lo que implica que no todas las especies nativas registradas en las fincas se pudieron registrar en los sitios control con bosque, y que las fincas constituyen un aporte importante a la conservación de la diversidad de plantas leñosas nativas al bosque mesófilo y a la selva mediana subperennifolia.

Cuadro 4.3. Matriz de similitud de Jaccard entre sitios. Se presentan los datos del índice de similitud en el cuadrante superior y las especies compartidas en el cuadrante inferior.

	ESM	MTZ	VCS	VSE	ARM	AUR	AXO	MOR	ORD	ALU	MIR	ONZ	PAN	VBM	ZOP	CAN	PAR
ESM		0.25	0.2	0.18	0.22	0.30	0.33	0.20	0.30	0.16	0.25	0.40	0.29	0.21	0.21	0.07	0.09
MTZ	4		0.13	0.18	0.13	0.18	0.13	0.20	0.26	0.12	0.13	0.24	0.11	0.21	0.22	0.05	0.00
VCS	4	2		0.26	0.19	0.14	0.22	0.16	0.12	0.08	0.14	0.11	0.13	0.18	0.1	0.03	0.03
VSE	4	3	5		0.14	0.18	0.20	0.26	0.15	0.08	0.11	0.14	0.15	0.13	0.17	0.05	0.06
ARM	6	3	5	4		0.1	0.19	0.15	0.32	0.19	0.16	0.29	0.30	0.14	0.32	0.03	0.05
AUR	6	3	3	4	3		0.20	0.33	0.20	0.08	0.11	0.24	0.15	0.21	0.17	0.05	0.09
AXO	6	2	4	4	5	4		0.29	0.27	0.11	0.12	0.18	0.16	0.14	0.14	0.03	0.07
MOR	4	3	3	5	4	6	5		0.17	0.08	0.12	0.18	0.10	0.18	0.14	0.02	0.03
ORD	7	5	3	4	9	5	6	4		0.24	0.17	0.24	0.26	0.26	0.31	0.08	0.08
ALU	6	4	3	3	8	3	4	3	9		0.20	0.26	0.32	0.13	0.16	0.05	0.08
MIR	10	5	6	5	8	5	5	5	8	11		0.25	0.23	0.34	0.16	0.10	0.11
ONZ	12	7	4	5	11	8	6	6	9	12	13		0.36	0.24	0.28	0.07	0.06
PAN	10	4	5	6	12	6	6	4	10	15	13	16		0.20	0.26	0.08	0.10
VBM	6	5	5	4	5	6	4	5	8	6	15	10	9		0.19	0.06	0.05
ZOP	6	5	3	5	10	5	4	4	9	7	8	11	11	7		0.06	0.08
CAN	4	3	2	3	2	3	2	1	5	4	8	5	6	4	4		0.21
PAR	3	0	1	2	2	3	2	1	3	4	6	3	5	2	3	13	

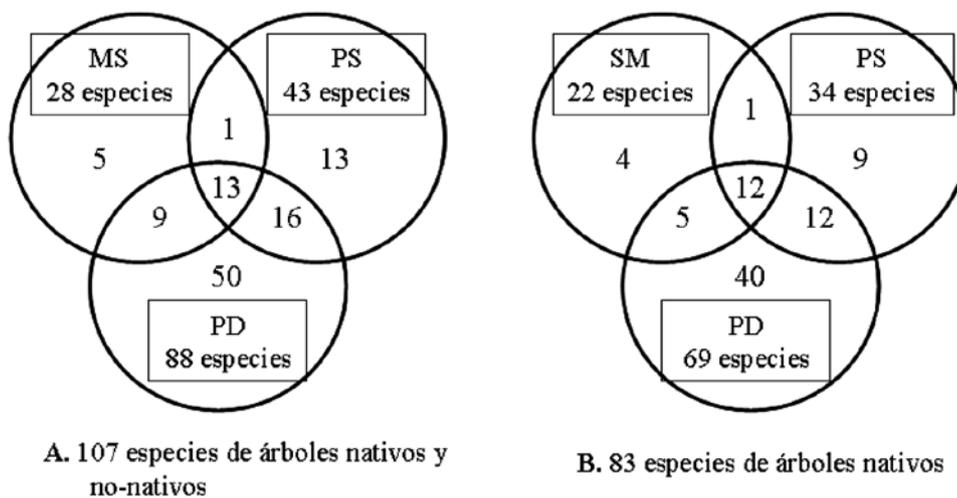


Figura 4.2. Diagramas de Venn que ilustran la distribución de especies de árboles ≥ 5 cm dap en tres tipos de fincas para **A** todas las especies registradas en el muestreo, y **B** sólo especies nativas a bosque mesófilo o selva mediana. MS es monocultivo bajo sombra, PS es policultivo sencillo, PD es policultivo diverso.

RECOMENDACIONES

- La estructura de la vegetación de los cafetales bajo sombra es la base para la conservación de varios taxa vegetales y animales, pero es necesario determinar qué especies de plantas leñosas son clave para ella. Por lo tanto, se propone que en

las fincas de café la selección de especies de árboles se haga no sólo con un criterio económico o utilitario, sino también con un criterio ecológico, es decir, que se preferan especies nativas de la vegetación regional, que tengan diámetros grandes (área basal) y que sean especies con frutos comestibles dispersados por animales. Todos

esos criterios son básicos para que los cafetales tengan un aporte importante en la conservación biológica.

- Dado que el manejo de monocultivo bajo sombra tiene un aporte bajo a la estructura de la vegetación leñosa en los cafetales, es preferible promover más el manejo de policultivo, ya sea sencillo o diverso.
- Existe una gran variación en el manejo de los cafetales, cada uno de ellos impacta de manera distinta la estructura y la composición, pero cada tipo de manejo actúa como un depositario de alguna parte de la biodiversidad; entonces un acercamiento de conservación regional requeriría considerar esa diversidad de manejos dentro del paisaje modificado.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Eduardo Martínez, Inés Morato y Aníbal Niembro por su apoyo en el trabajo de campo. A Claudia Gallardo y Carlos Durán del Herbario XAL del Instituto de Ecología, A.C. por su ayuda en la identificación de las especies colectadas.

REFERENCIAS

- Armbrecht I, Perfecto I, Vandermeer J. 2004. Enigmatic biodiversity correlations: ant diversity responds to diverse resources. *Science* 304:284-286.
- Bandeira FP, Toledo VM, López-Blanco J. 2002. Tzotzil Maya ethnoecology: Landscape perception and management as a basis for coffee agroforest design. *Journal of Ethnobiology* 22:247-272.
- Bandeira FP, Martorell C, Meave JA, Caballero J. 2005. The role of rustic coffee plantations in the conservation of wild tree diversity in the Chinantec region of Mexico. *Biodiversity and Conservation* 14:1225-1240.
- Barradas VL, Fanjul L. 1986. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology* 38:101-112.
- Beer J, Muschler R, Kass D, Somarriba E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164.
- Carlo TA, Collazo JA, and Groom MJ. 2004. Influences of fruit diversity and abundance on bird use of two shaded coffee plantations. *Biotropica* 36:602-614.
- Colwell RK. 2005. *Estimate S: Statistical estimation of species richness and shared species for samples*. Version 7.5. Persistent URL <purl.oclc.org/estimates>.
- Colwell RK, Coddington JA. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society, Series B* 345:101-118.
- Chao A, Chazdon RL, Colwell RK, Shen T. 2005. A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. *Ecology Letters* 8:148-159.
- Cházaro-Basáñez M. 1982. Flora apícola de la zona cafetalera de Coatepec, Ver. En: Jiménez-Ávila E, Gómez Pompa A, editores. *Estudios Ecológicos en el Agroecosistema Cafetalero*. Veracruz, México: INIREB-CECSA. p. 95-102.
- Escamilla E, Licona A, Díaz S, Cortés S, Sosa R, Rodríguez L. 1994. Los sistemas de producción del café en el centro de Veracruz, México. Un análisis tecnológico. *Revista de Historia* (Centro de Investigaciones Históricas Universidad de Costa Rica) 30:41-67.
- Estrada A, Fleming 1986. *Frugivores and seed dispersal*. Holanda: Dr. W. Junk. 392 p.
- Galindo-González J, Guevara S, Sosa VJ. 2000. Bat- and bird-generated seed rains at isolated trees in pastures in a tropical rainforest. *Conservation Biology* 14:1693-1703.
- Gotelli NJ, Colwell RK. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters* 4:379-391.
- Hernández-Córdoba M. 1979. *Identificación de las principales especies de árboles utilizadas como sombra del café en la cuenca de Coatepec*. Tesis Licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Veracruz, México.
- Jiménez-Ávila E, Gómez Pompa A, editores. 1982. *Estudios Ecológicos en el Agroecosistema Cafetalero*. Veracruz, México: INIREB-CECSA. 143 p.
- Mas AH, Dietsch TV. 2004. Linking shade coffee certification to biodiversity conservation: butterflies and birds in Chiapas, Mexico. *Ecological Applications* 14:642-654.
- Moguel P, Toledo V. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13:11-21.
- Perfecto I, Rice R, Greenberg R, Van der Voort ME. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *Bioscience* 46:598-608.
- SAS. 1997. *JMP User's Guide*. SAS Institute, Cary, Carolina del Norte.
- Soto-Pinto L, Romero-Alvarado Y, Caballero-Nieto J, Segura G. 2001. Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee plantations in Northern Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical* 49:977-987.
- Soto-Pinto L, Villalvazo-López V, Jiménez-Ferrer G, Ramírez-Marcial N, Montoya G, Sinclair FL. 2007. The role

of local knowledge in determining shade composition of multistrata coffee systems in Chiapas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 16:419-436.

Williams-Linera G. 2002. Tree species richness complementarity, disturbance and fragmentation in a Mexican tropical montane cloud forest. *Biodiversity and Conservation* 11:1825-1843.

Williams-Linera G, López-Gómez AM, Muñoz-Castro MA. 2005. Complementariedad y patrones de anidamiento

de especies de árboles en el paisaje de bosque de niebla del centro de Veracruz (México). Halffter G, Soberón J, Koleff P, Melic A, editores. *Sobre Diversidad Biológica: El Significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma*. m3m-Monografías Tercer Milenio, vol 4. Zaragoza, España: SEA, CONABIO, Grupo DIVERSITAS y CONACYT. p. 153-164.

APÉNDICE 4.1. DENSIDAD (INDIVIDUOS/HA) DE ESPECIES DE ÁRBOLES \geq 5 CM DAP REGISTRADAS EN CADA UNO DE LOS CAFETALES Y BOSQUES MUESTREADOS EN LA REGIÓN COATEPEG-HUATUSCO, VERACRUZ. CON UN ASTERISCO SE SEÑALAN LAS ESPECIES NATIVAS A BOSQUE MESÓFILO O SELVA MEDIANA.

Especie	Monocultivo bajo sombra					Policultivo sencillo					Policultivo diverso					Bosque	
	ESM	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	MTZ	VCS	VSE	ARM	AUR	AXO	MOR	ORD	ALU	MIR	ONZ	PAN	VBM	ZOP	CAN	PAR	
<i>Acacia comigera</i> *	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Acacia pennatula</i> *	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	
Acanthaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	-	-	-	-	-	-	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Alchornea latifolia</i> *	4	3	-	-	13	-	-	7	-	5	6	5	2	1	2	-	
<i>Annona cherimola</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
Annonaceae *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	
<i>Ardisia compressa</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	1	-	-	-	-	-	
Asteraceae 1 *	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Asteraceae 2 *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	
<i>Bauhinia divaricata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	23	-	-	1	-	-	-	-	
<i>Beilschmiedia mexicana</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	-	
<i>Brunellia mexicana</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38	-	
<i>Burchosia lindeniana</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	
<i>Bursera simaruba</i> *	-	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	
<i>Byrsonima crassifolia</i> *	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
<i>Carica papaya</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	
<i>Carpinus caroliniana</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2	212	
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	
<i>Cecropia obtusifolia</i> *	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	4	2	2	2	-	-	
<i>Cedrela odorata</i> *	-	1	1	-	-	-	18	-	11	1	2	-	2	1	-	-	
<i>Cestrum sp. 1</i> *	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Cestrum sp. 2</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Chrysophyllum mexicanum</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	
<i>Cinnamomum effusum</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	13	-	
<i>Cinnamomum triplinerve</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2	-	-	-	
<i>Citharexylum mocinnii</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	
<i>Citrus spp.</i>	4	-	5	-	51	21	3	8	31	13	40	41	1	2	-	51	
<i>Clethra macrophylla</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	
<i>Clethra mexicana</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	

<i>Cnidioscolus multilobus</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	
<i>Coccoloba barbadensis</i> *	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cojoba arborea</i> *	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2
<i>Croton draco</i> *	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cupania dentata</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cyphomandra betacea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dendropanax arboreus</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> *	1	-	33	-	-	7	2	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eriobotrya japonica</i>	-	-	-	-	1	36	-	-	5	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Erythrina americana</i> *	-	-	-	-	2	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Erythrina poeppigiana</i>	-	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eugenia sp.</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Euphorbia pulcherrima</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Euphorbiaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ficus calyculata</i> *	2	-	11	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ficus cotinifolia</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ficus obtusifolia</i> *	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ficus pertusa</i> *	-	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-
<i>Ficus sp. 1</i>	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ficus sp. 2</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ficus sp. 3</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ficus yoponenis</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Galium sp.</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gilircidia sepium</i> *	-	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
<i>Grevillea robusta</i>	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hamelia patens</i> *	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hampea integerrima</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51
<i>Heliocarpus appendiculatus</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Heliocarpus donnell-smithii</i> *	1	-	8	-	5	2	36	2	11	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2
<i>Ilex belizensis</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ilex toluhana</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Inga jinicul*</i>	13	5	-	-	-	60	39	1	16	25	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Inga latibracteata</i> *	3	-	2	-	21	73	47	2	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Inga punctata</i> *	5	-	2	-	1	11	-	-	18	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Inga sp. 1</i>	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Inga sp. 2</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Inga sp. 3</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
<i>Inga sp. 4</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
<i>Inga spuria</i> *	-	-	-	-	-	-	2	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

APÉNDICE 4.1. DENSIDAD (INDIVIDUOS/HA) DE ESPECIES DE ÁRBOLES ≥ 5 CM DAP REGISTRADAS EN CADA UNO DE LOS CAFETALES Y BOSQUES MUESTREADOS EN LA REGIÓN COATEPEC-HUATUSCO, VERACRUZ. CON UN ASTERISCO SE SEÑALAN LAS ESPECIES NATIVAS A BOSQUE MESÓFILO O SELVA MEDIANA. (CONTINUACIÓN)

Especie	Monocultivo bajo sombra			Policultivo sencillo					Policultivo diverso					Bosque			
	ESM	MTZ	VCS	VSE	ARM	AUR	AXO	MOR	ORD	ALU	MIR	ONZ	PAN	VBM	ZOP	CAN	PAR
<i>Inga vera</i> *	11	151	238	202	5	18	144	31	30	7	1	19	51	33	42	-	-
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
<i>Juglans pyriformis</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	3	-
Leguminosae 1	-	-	-	-	-	-	3	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Leguminosae 2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-
<i>Leucaena leucocephala</i>	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	2	-
<i>Lippia myriocephala</i> *	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-
<i>Liquidambar styraciflua</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	39
<i>Lonchocarpus guatemalensis</i> *	-	-	-	-	14	-	-	-	10	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>Macadamia tetraphylla</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-
<i>Magnolia</i> sp.*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Mangifera indica</i>	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	1	-	-	4	-	-	-
<i>Matayba oppositifolia</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
Melastomataceae 1*	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Melastomataceae 2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-
<i>Melia azedarach</i>	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-
<i>Meliosma alba</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	8
<i>Miconia</i> sp. 1*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Miconia</i> sp. 2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
<i>Mimosa scabrella</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-
136	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	1	-	1	2	-	18	28
<i>Myrsine coriacea</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
<i>Ocotea psychotrioides</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oreopanax capitatus</i> *	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oreopanax liebmannii</i> *	-	-	-	-	7	-	-	-	2	-	-	-	4	-	-	-	-
<i>Oreopanax xalapensis</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2
<i>Ostrya virginiana</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
<i>Palicourea padifolia</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	20
<i>Persea americana</i> *	-	-	-	-	-	2	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

<i>Persea longipes</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Persea schiedeana</i> *	2	-	-	-	-	-	-	-	11	1	2	2	-	-	-	-	-	-	3
<i>Persea sp. *</i>	-	-	-	-	-	3	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Picramnia antidesma</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pimenta dioica</i> *	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Piper nudum</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Piscidia piscipula</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Platanus mexicana</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
<i>Prunus rhamnoides</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prunus serotina</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Psidium guajava</i> *	-	-	-	1	-	-	-	-	3	-	6	12	-	1	-	-	-	-	-
<i>Psidium sartorianum</i> *	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-
<i>Psychotria sp. *</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-
<i>Quercus germana</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11
<i>Quercus insignis</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	-
<i>Quercus leiophylla</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	15
<i>Quercus sapotaefolia</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	-	-	-	-	-	-
<i>Quercus sartorii</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	21	-
<i>Quercus sp. 1*</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-	28	-	-	5	-	-	-	-	-	-
<i>Quercus sp. 2*</i>	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Quercus sp. 3*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
<i>Quercus sp. 4*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
<i>Quercus xalapensis</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38
<i>Rhamus capreifolia</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Rubiaceae*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-
<i>Saurauia leucocarpa</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
<i>Saurauia pedunculata</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-
<i>Saurauia villosa</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-
<i>Senecio arborescens</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	23
<i>Siparuna andina</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-
<i>Solanaceae 1*</i>	-	-	-	-	-	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Solanaceae 2*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-
<i>Solanum schlechtendalianum</i> *	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2
<i>Spathodea campanulata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spondias mombin</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spondias sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stemmadenia donnell-smithii</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Styrax glabrescens</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47

Apéndice 4.1. DENSIDAD (INDIVIDUOS/HA) DE ESPECIES DE ÁRBOLES ≥ 5 CM DAP REGISTRADAS EN CADA UNO DE LOS CAFETALES Y BOSQUES MUESTREADOS EN LA REGIÓN COATEPEC-HUATUSCO, VERACRUZ. CON UN ASTERISCO SE SEÑALAN LAS ESPECIES NATIVAS A BOSQUE MESÓFILO O SELVA MEDIANA. (CONTINUACIÓN)

Especie	Monocultivo bajo sombra							Policultivo sencillo							Policultivo diverso							Bosque														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	ESM	MTZ	VCS	VSE	ARM	AUR	AXO	MOR	ORD	ALU	MIR	ONZ	PAN	VBM	ZOP	CAN	PAR		
<i>Swietenia macrophylla</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Symplocos coccinea</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2		
<i>Syzygium jambos</i>	-	-	-	-	2	-	-	-	-	3	1	2	4	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Tapirira mexicana</i> *	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	-		
<i>Tibouchina sp.</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Trema micrantha</i> *	10	1	7	1	1	49	3	33	2	-	8	16	2	5	7	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Trichilia havanensis</i> *	-	-	-	-	2	-	-	-	3	2	-	-	3	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Trophis mexicana</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
<i>Trophis racemosa</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Turpinia insignis</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Urticaceae*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Verbenaceae*	-	-	-	1	-	5	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Vismia mexicana</i> *	-	-	-	-	1	-	-	2	-	-	-	2	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Wimmeria concolor</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
<i>Xylosma flexuosum</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Zanthoxylum clava-herculis</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Zanthoxylum procerum</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Zinowiewia integririma</i> *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Número de especies	13	7	11	13	20	13	11	11	17	30	37	29	32	22	21	53	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	
Especies nativas	10	6	9	12	16	11	8	9	13	23	31	21	26	19	18	51	21	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
Especies no nativas	3	1	2	1	4	2	3	2	4	7	6	8	6	3	3	2	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

Epífitas vasculares: bromelias y orquídeas

JOSÉ G. GARCÍA-FRANCO Y TARIN TOLEDO ACEVES

Resumen

El bosque mesófilo de montaña de la región central del estado de Veracruz ha sido sustituido mayormente por cafetales de sombra con diferentes características y formas de manejo. Evaluamos el papel de los sistemas cafetaleros en la conservación de la diversidad de epífitas vasculares. Se registró la presencia de bromelias, orquídeas y de algunas epífitas conspicuas en dos fragmentos de bosque y varios cafetales con sistemas de monocultivo a sombra, policultivo diverso y policultivo sencillo. Se encontraron 88 especies de 9 familias en todos los sitios. La mayoría de las especies fueron escasas y poco frecuentes, aunque las bromelias *Tillandsia schiedeana* y *T. juncea* estuvieron presentes en casi todos los sitios estudiados y fueron muy abundantes. No todos los cafetales con el mismo sistema de manejo comparten las mismas especies de epífitas, incluso aquellos geográficamente cercanos. La mayor diversidad de especies se encontró en policultivos diversos y policultivos sencillos, cafetales que tuvieron una diversidad semejante a los fragmentos de bosque. Aquellos cafetales con árboles remanentes de bosque fueron los más diversos. Ya que la diversidad cambia entre cafetales y regiones, es importante mantener en estos agrosistemas árboles grandes y preferentemente del bosque original.

Abstract

Tropical montane rain forest has been replaced mainly by shaded coffee plantations with different management and characteristics in the central region of Veracruz. We evaluated the role of coffee plantations in the conservation of vascular epiphyte diversity. The presence of bromeliads, orchids and some conspicuous epiphytes was registered in two forest fragments and various coffee plantations, which are shaded monocultures, diverse polycultures and commercial polycultures. Eighty-eight species were found of nine families in all sites. Most species were scarce and not very frequent, even though the bromeliads *Tillandsia schiedeana* and *T. juncea* were present in almost all the study sites and were very abundant. Not all coffee plantations with the same management system shared the same epiphyte species, even those geographically close. The highest diversity of species was found in diverse polycultures and commercial polycultures, coffee plantations which had similar diversity to that in the forest fragments. Coffee plantations with remnant trees from the forest were the most diverse. Because the diversity differed between coffee plantations and regions, it is important to maintain big trees in these agroecosystems and preferably those from the original forest.

INTRODUCCIÓN

El bosque mesófilo de montaña (BMM) cubre una extensión de menos del 1% del territorio nacional (Rzedowski 1978), y es uno de los ecosistemas que alberga la mayor diversidad de especies de flora y fauna (Challenger 1998). Se calcula que alrededor de 2500 a 3000 especies de plantas vasculares habitan exclusiva y preferentemente en estos bosques (Rzedowski 1993). También juega un papel preponderante en el ciclaje de agua y nutrientes a nivel de paisaje (Manson 2004). El BMM se caracteriza por una vegetación densa, donde en el dosel dominan árboles caducifolios de afinidad templada, principalmente de los géneros *Quercus*, *Liquidambar* y *Fagus*, mientras que en el sotobosque se encuentran predominantemente especies tropicales perennifolias (Rzedowski 1978, Challenger 1998). Su distribución corresponde al clima templado con humedad elevada, donde la niebla se presenta continuamente o con mucha frecuencia (Rzedowski 1978), de ahí que también se le conozca como “bosque de niebla”. Desafortunadamente la distribución naturalmente fragmentada del BMM, por el paisaje fuertemente accidentado y su lenta capacidad para recuperarse de la perturbación, lo convierte en un sistema particularmente frágil (Ewel 1980, Williams-Linera 1992), por lo que las áreas que albergan BMM son consideradas regiones terrestres prioritarias para la conservación (Arriaga *et al.* 2000). En México, aproximadamente un 50% de la superficie cubierta originalmente por BMM ha sido reemplazado por otros tipos de uso del suelo (Challenger 1998). En la región central de Veracruz el BMM ha sido convertido principalmente en plantaciones de café; proceso que ha tenido lugar desde finales del siglo XIX y en la década de 1960 principalmente (Challenger 1998). Los cafetales son sistemas muy diversos que pueden variar de monocultivos hasta policultivos diversos de sombra (Moguel y Toledo 1999). No obstante, la simplificación del sistema y la pérdida de especies, que conlleva la transformación del bosque natural a un agroecosistema forestal, los cafetales de sombra, en particular, representan un refugio importante para una gran variedad de especies (Greenberg *et al.* 1997, Cruz-Angón y Greenberg 2005, Hietz 2005, Solís-Montero *et al.* 2005).

Uno de los componentes más característicos y llamativos del BMM son las plantas epífitas (Rzedowski 1978). Este grupo está conformado por organismos

cuyo ciclo de vida se desarrolla íntegramente sobre o dentro de los tejidos muertos exteriores de otras plantas, sin obtener agua o nutrientes de tejidos vivos (Slak 1976). Ejemplos de plantas epífitas incluyen la mayoría de las orquídeas, bromelias, helechos, musgos y hepáticas, siendo los tres primeros grupos plantas vasculares (poseen tejidos vasculares especializados, como xilema y floema), mientras que los últimos dos grupos son plantas no vasculares. En el BMM las orquídeas y las bromelias epífitas son particularmente diversas (Rzedowski 1991). Las plantas epífitas son uno de los grupos más susceptibles a la fragmentación y perturbación de los bosques (Holbrook 1991, Turner *et al.* 1994, Padmawathe *et al.* 2004, Zhu *et al.* 2004). Aunado a la destrucción de su hábitat, la colecta desmedida de orquídeas y bromelias con fines comerciales y ceremoniales amenaza la persistencia de sus poblaciones (Flores-Palacios y Valencia 2007; I. Haeckel datos no publicados). No obstante, numerosas especies de epífitas que se establecen en los árboles en el BMM, pueden arribar y establecerse en los árboles de sombra de los cafetales (Holbrook 1991, Turner *et al.* 1994, Padmawathe *et al.* 2004, Hietz 2005, Solís-Montero *et al.* 2005). Por ejemplo, para el centro de Veracruz se han reportado de 101 a 104 especies de epífitas vasculares en fragmentos de bosque mesófilo y 89 especies en cafetales de sombra (Flores-Palacios y García-Franco 2001, Hietz 2005). Así, los árboles de sombra son un elemento crítico para el mantenimiento de la comunidad de plantas epífitas en estos agroecosistemas. Los árboles de sombra en los cafetales pueden ser remanentes del bosque o pertenecer a especies introducidas, como es el caso de árboles del género *Inga* spp. La identidad del árbol hospedero así como su tamaño pueden determinar la abundancia y composición de epífitas asociadas (Johanson 1974, Benzing 1978, Hietz-Seifert *et al.* 1995, Hietz 2005). Por lo tanto, el tipo de manejo del cafetal determina la importancia del sistema para la conservación y mantenimiento de la biodiversidad.

Las epífitas son un elemento importante de la diversidad de los sistemas cafetaleros y esenciales en la estructura y dinámica de la fauna asociada (Gentry y Dodson 1987, Greenberg *et al.* 1997, Johnson 2000, Cruz-Angón y Greenberg 2005; A. Hernández datos no publicados). Las epífitas aumentan la complejidad estructural del dosel y proveen recursos adicionales para la fauna (Nadkarni y Matelson 1989). En bosques naturales, las epífitas juegan un papel importante en la

productividad, captación de agua y ciclaje de nutrientes (Nadkarni 1986, Hofstede *et al.* 1993, Hsu *et al.* 2002, Nadkarni *et al.* 2004). Por ejemplo, en un BMM en Costa Rica las epífitas presentaron 40% del total de nutrientes presentes en la biomasa no leñosa (Nadkarni 1988). Al caer al suelo y degradarse las epífitas contribuyen al ciclaje de nutrientes dentro del sistema forestal y es muy probable que en los cafetales su contribución en estos procesos sea también de gran importancia. Este capítulo se centra en la ecología de epífitas vasculares, en particular en la diversidad de bromelias y orquídeas, en diferentes sistemas cafetaleros y remanentes de BMM en la región central de Veracruz.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en dos fragmentos de bosque mesófilo y 10 cafetales con diferentes sistemas de manejo. Los sitios de estudio se indican en el Cuadro 5.1 y la descripción detallada de cada uno puede verse en los Capítulos 2 y 4. Los grupos de epífitas estudiados fueron Bromeliaceae, Orchidaceae y otras epífitas (incluidas Loranthaceae, Cactaceae, Araceae y otras especies más conspicuas). El cuadro 5.1 también señala los grupos de epífitas vasculares que se

registraron en cada cafetal y fragmento de bosque. El registro de epífitas en cada sitio se hizo en los puntos permanentes de muestreo del proyecto Biocafé, generalmente indicados por un árbol, o en árboles cercanos a esos puntos que tuvieran las dimensiones promedio de la cobertura arbórea del sitio. Al estar los puntos de muestreo a una distancia de 50 m, los árboles con epífitas pueden considerarse independientes, por lo que el muestreo de las epífitas es confiable (Gradstein *et al.* 2003). Como la estructura y diversidad arbórea cambia entre los sitios (Capítulo 4), las características de los árboles utilizados como unidad de muestreo también varían. De cada árbol se midió la altura y el DAP y se registraron las especies de epífitas presentes. Cuando fue posible se cuantificó el número de individuos por especie, pero en árboles con crecimientos profusos de epífitas, se considero como mejor opción el conteo del número de colonias o manchones de cada una de las especies. Los individuos o clones no se distinguen al presentar los datos y se mencionan de manera general como individuos (Apéndice 5.1).

Con los datos obtenidos, inicialmente se hizo una exploración del número de especies y la abundancia de las epífitas registradas en los sitios de estudio. Posteriormente, se realizó una ordenación (análisis de componentes principales binario) con lo cual se pudo

Cuadro 5.1. Índice de Diversidad de Shannon-Wiener de fragmentos de bosque mesófilo de montaña y cafetales bajo distintos sistemas de manejo donde se registraron las especies de Bromeliaceae, Orchidaceae y otras epífitas. Una descripción detallada de los sitios se encuentra en los Capítulos 2 y 8. Celdas vacías indican que el sitio no fue muestreado para el grupo de epífitas.

Bosque o Cafetal	Clave	Tipo de vegetación y/o Cultivo	Puntos de muestreo	Bromelias y epífitas conspicuas	Orquídeas	Bromelias, epífitas conspicuas y orquídeas
Las Cañadas	CAÑ	Bosque	10	2.48	2.21	3.08
Parque Ecológico	PAR	Bosque	10	2.27	2.273	2.88
La Esmeralda	ESM	Monocultivo a sombra	10	1.66		
La Vequia-Café Estándar	VSC	Monocultivo a sombra	10	1.77		
La Vequia-Sombra Especializada	VSE	Monocultivo a sombra	12	1.04		
Martín Aluja	ALU	Policultivo diverso	5	2.05		
El Mirador	MIR	Policultivo diverso	12	1.37	1.49	1.82
La Onza	ONZ	Policultivo diverso	10	2.45	1.59	2.85
La Vequia-Bajo Monte	VBM	Policultivo diverso	10	1.52	1.33	1.58
El Zopilote	ZOP	Policultivo diverso	10	1.52		
Virginia Armand	ARM	Policultivo sencillo	10	1.78	2.20	2.33
El Cerrito	AUR	Policultivo sencillo	5		2.19	
Orduña	ORD	Policultivo sencillo	10	1.55	1.99	1.91

observar las semejanzas entre los sitios estudiados debidas a la composición de las especies de epífitas. Finalmente, para conocer la diversidad de especies de epífitas en los sitios se calculó el Índice de Shannon-Wiener, y la comparación en composición se hizo por medio del Índice de Similitud de Jaccard.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En total se registraron 88 especies de epífitas con 5348 individuos (Apéndice 5.1). Bromeliaceae y Orchidaceae fueron las familias con mayor número de especies (25 y 51 especies, respectivamente), ya que son las familias más abundantes y diversas, en ellas se enfocó el registro de datos. La frecuencia (= número de sitios en el cual ocurre una especie) de las especies en los sitios de estudio fue muy variable. Las bromelias *Tillandsia schiedeana* y *T. juncea* estuvieron presentes en casi todos los sitios de trabajo (11 y 12 de los 12 sitios incluidos, respectivamente), mientras que otras especies como *T. lucida*, *T. recurvata* y *T. filifolia* se registraron en un sitio solamente. Las dos especies de bromelias más frecuentes también fueron las más abundantes (1316 y 1072 individuos, respectivamente) (abundancia = número de individuos); de igual forma que las menos frecuentes también fueron menos abundantes (3, 3 y 1 individuos, respectivamente). Por otro lado, *Rhipsalis baccifera* (Cactaceae) también estuvo presente en un alto número de sitios estudiados (10 sitios), pero su abundancia fue media (206 individuos). La mayoría de las especies de Orchidaceae tuvieron baja abundancia y fueron escasas en todos los sitios donde se registraron. *Encyclia ochracea*, *Isochilus linearis* y *Maxillaria densa* fueron las orquídeas con mayor frecuencia (5 sitios de los 8 incluidos), y también fueron abundantes (41, 35 y 49 individuos, respectivamente). En contraste, *Maxillaria densa* sólo estuvo presente en 3 sitios pero fue la más abundante con 55 individuos registrados. Otras epífitas como *Philodendron* sp., *Monstera* sp. y *Ephiphyllum* sp. se registraron en un solo sitio con muy pocos individuos (1-6 individuos).

A pesar de que los cafetales son ambientes transformados, y de estar sujetos a perturbaciones constantes como el aclareo o la apertura de campos de cultivo en sus inmediaciones, aspectos que favorecen la dispersión y establecimiento de las parásitas vasculares (muérdagos y/o corrigüelas), éstas fueron poco frecuentes y abundantes. Esto sugiere diferentes causas como la falta

de dispersión de los propágulos a estos sitios, la poca susceptibilidad de las especies arbóreas utilizadas como sombra en los cafetales a las parásitas, las condiciones inadecuadas para la germinación y el crecimiento de las semillas de las parásitas en caso que arriben, y/o las labores de mantenimiento de los cafetales que eliminan o limitan la presencia de las parásitas.

En los fragmentos de bosque mesófilo se registraron 17-19 especies de bromelias y epífitas conspicuas (en CAÑ y PAR, respectivamente), mientras que en los cafetales fue muy variable y, aparentemente, no estuvo relacionado con el tipo de manejo. La mayoría de los cafetales presentaron entre 8 y 15 especies de bromelias y epífitas conspicuas. Sin embargo, el policultivo diverso La Onza (ONZ) tuvo 21 especies mientras que el monocultivo a sombra La Vequia (VSE) sólo presentó tres especies de bromelias y epífitas conspicuas. Por otro lado, el mayor número de individuos se registró en el policultivo sencillo de la Orduña (ORD, 917 plantas), y el menor número en los dos monocultivos a sombra de La Vequia (VCS y VSE, 22 y 4 respectivamente) (Apéndice 5.1). Varios de los sitios estudiados no se agrupan por la semejanza en su forma de manejo, y algunos tampoco por su ubicación geográfica. La figura 5.1 muestra el análisis de componentes principales (PCA) considerando únicamente la presencia de las especies. El grupo 1 representa dos cafetales con manejo de monocultivo de la zona de Huatusco, mientras que el grupo 2 contiene cafetales y bosque de la zona de Xalapa. El grupo 3 tiene una mezcla de cafetales con distinto manejo y ubicación geográfica, y el grupo 4 representa el bosque de la zona de Huatusco. Lo anterior indica que los cafetales y bosques pueden contener especies semejantes o diferentes indistintamente de su manejo y ubicación geográfica. Los valores de los índices de similitud de Jaccard concuerdan con la semejanza de los grupos que se forman por el análisis de componentes principales (Cuadro 5.2), y curiosamente el Parque Ecológico (PAR) tiene alta semejanza con el cafetal La Vequia-Bajo Monte (VBM), aunque se encuentran ubicados en diferente área geográfica. Es posible que la presencia o ausencia de ciertas especies esté determinada, al menos en parte, por la cercanía a fragmentos de BMM que no fueron evaluados y que podrán no existir en el presente pero que funcionaron como una fuente de propágulos en el pasado reciente.

Cuando se consideran únicamente las especies de orquídeas, los fragmentos de bosque muestran mayor y

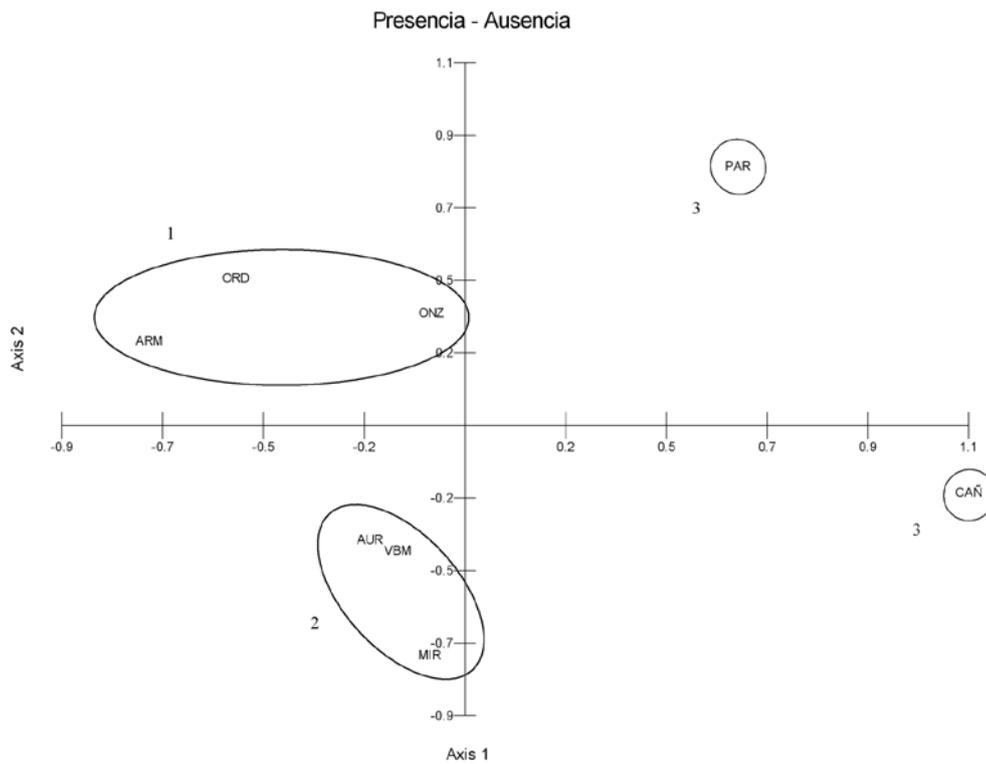
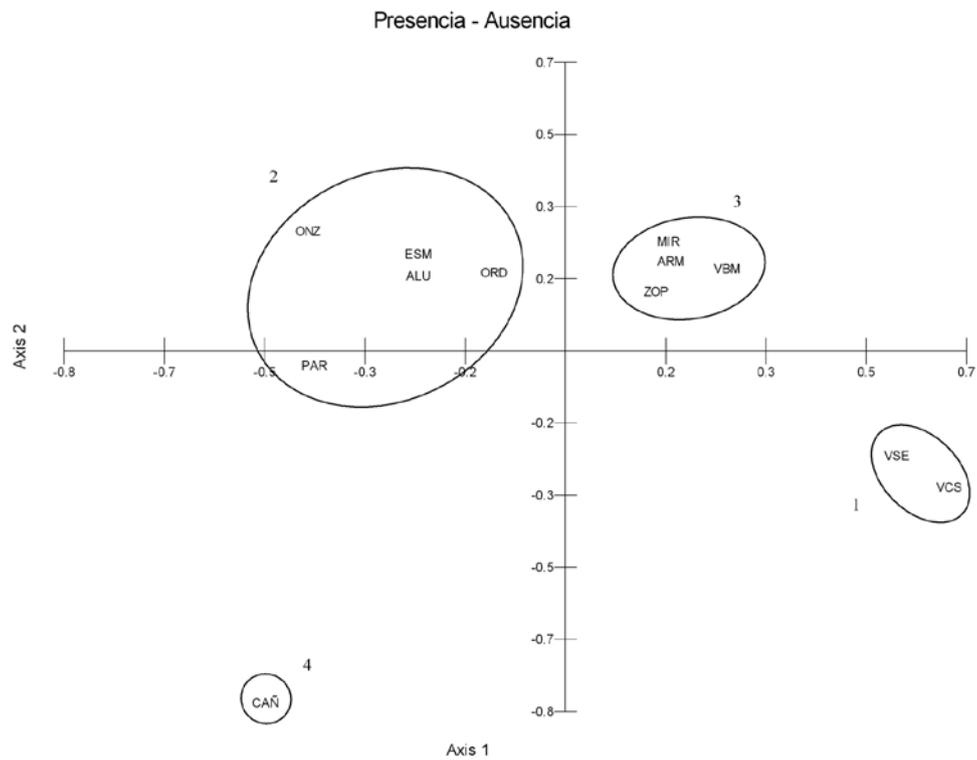


Figura 5.1. Análisis de componentes principales que muestran agrupaciones de los sitios que comparten especies de bromelias y epífitas conspicuas (a), y orquídeas (b) registradas (varianza explicada por los dos ejes $a = 45.3\%$ y $b = 47.5\%$) (Clave de los sitios en el cuadro 5.1).

Cuadro 5.2. Índice de Similitud de Jaccard (arriba de la diagonal) entre los sitios estudiados, utilizando las especies de bromelias y epífitas conspicuas registradas en cada uno (número en la diagonal), y las especies comunes entre los sitios (debajo de la diagonal). Clave de los sitios de estudio en el cuadro 5.1.

	CAÑ	PAR	ALU	ARM	MIR	ZOP	ORD	VBM	ONZ	ESM	VCS	VSE
CAÑ	19	0.44	0.31	0.23	0.19	0.12	0.33	0.19	0.33	0.32	0.08	0.05
PAR	11	17	0.52	0.30	0.36	0.29	0.50	0.45	0.41	0.72	0.14	0.05
ALU	8	11	15	0.40	0.47	0.47	0.65	0.50	0.50	0.61	0.15	0.13
ARM	6	7	8	13	0.37	0.53	0.63	0.56	0.36	0.50	0.31	0.14
MIR	5	8	9	7	13	0.35	0.37	0.56	0.36	0.42	0.17	0.14
ZOP	3	6	8	8	6	10	0.64	0.38	0.35	0.50	0.20	0.18
ORD	8	10	11	10	7	9	13	0.47	0.55	0.69	0.24	0.14
VBM	5	9	9	9	9	6	8	12	0.38	0.53	0.33	0.25
ONZ	10	11	12	9	9	8	12	9	21	0.52	0.12	0.09
ESM	8	13	11	9	8	8	11	9	12	14	0.16	0.13
VCS	2	3	3	5	3	3	4	5	3	3	8	0.38
VSE	1	1	2	2	2	2	2	3	2	2	3	3

similar número de especies (17 en CAÑ y 18 en PAR), mientras que el Parque Ecológico tuvo más individuos (129 individuos). Aunque en general los cafetales tuvieron un menor número de especies de orquídeas, en el policultivo sencillo Virginia Armand (ARM) se registraron 15 especies de orquídeas y además, el policultivo diverso La Onza (ONZ) y el policultivo sencillo Virginia Armand (ARM) albergaron un mayor número total de plantas de orquídeas que los bosques (Apéndice 5.1). Los sitios estudiados se agruparon por la semejanza en las especies de orquídeas presentes y también por su similitud geográfica, pero no por el tipo de manejo. El grupo 1 está conformado por policultivo sencillo (ARM y ORD) y policultivo diverso (ONZ) de la zona de Xalapa. El grupo 2 comprende policultivo diverso (VBM y MIR) y policultivo sencillo (AUR) de la región de Huatusco. Mientras que los fragmentos de bosque se separaron tanto de los cafetales de sus regiones como entre ellos. Nuevamente el coeficiente de similitud indica que los sitios agrupados mantienen cierta semejanza, aunque el valor más alto (0.51) es para los cafetales de Virginia Armand y la Orduña (Cuadro 5.3).

Incluyendo únicamente los sitios en los cuales se registraron orquídeas, bromelias y epífitas conspicuas, podemos ver que los fragmentos de bosque tuvieron el mayor número de especies, seguidas por el policultivo

diverso La Onza (ONZ, 31 especies) y el policultivo sencillo Virginia Armand (ARM, 28 especies Cuadro 5.4). El Mirador (MIR) y la Orduña (ORD) también tuvieron más de 20 especies de epífitas. En el último cafetal se registró el mayor número de individuos. La agrupación de los sitios es similar cuando se consideraron todas las especies o únicamente a las orquídeas. La inclusión de todos los grupos de epífitas vasculares reduce la semejanza observada con alguno de los grupos particulares. En este caso el policultivo sencillo ORD tuvo los más altos valores de semejanza con ONZ, ARM, MIR y VBM; aunque este último se separa en la Figura 5.2.

La diversidad de epífitas vasculares es mayor en los fragmentos de bosque, sin embargo, varios cafetales sostienen una importante composición de especies. Por ejemplo, si se consideran únicamente las bromelias y epífitas conspicuas los policultivos de Martín Aluja (ALU) y La Onza (ONZ) tienen diversidad semejante a la de los fragmentos de bosque (Cuadro 5.1). De igual manera tomando en consideración sólo a las orquídeas, los policultivos sencillos Virginia Armand (ARM) y El Cerrito (AUR) tienen diversidad parecida a la de los bosques (Cuadro 5.1). Y cuando se incluyen todas las epífitas el policultivo diverso La Vequia Bajo Monte (VBM) y el policultivo sencillo de Virginia Armand (ARM) son parecidos a los fragmentos de bosque (Cua-

Cuadro 5.3. Índice de Similitud de Jaccard (arriba de la diagonal) entre sitios estudiados, utilizando las especies de orquídeas registradas en cada sitio (número en la diagonal), y las especies comunes entre los sitios (debajo de la diagonal). Clave de los sitios de estudio en el cuadro 5.1.

	CAÑ	PAR	ARM	AUR	MIR	ORD	VBM	ONZ
CAÑ	18	0.21	0.03	0.12	0.08	0.07	0.00	0.12
PAR	6	17	0.14	0.13	0.08	0.16	0.00	0.29
ARM	1	4	15	0.19	0.14	0.35	0.06	0.25
AUR	3	3	4	10	0.27	0.16	0.08	0.25
MIR	2	2	3	4	9	0.00	0.08	0.06
ORD	2	4	7	3	0	12	0.00	0.22
VBM	0	0	1	1	1	0	4	0.08
ONZ	3	6	5	4	1	4	1	10

dro 5.1). Se ha visto que la composición y la estructura de la comunidad de las epífitas se reducen de manera importante cuando los árboles se encuentran rodeados de pastizales (Flores-Palacios y García-Franco 1994). Los cafetales con árboles grandes son agroecosistemas que permiten la existencia de una gran diversidad de especies de epífitas (Hietz 2005). Sin embargo, también es importante la matriz de vegetación en la cual se encuentren inmersos y la presencia de árboles remanentes del bosque. En nuestro caso, aunque difieren en su forma de manejo, los cafetales de Virginia Armand (ARM), La Onza (ONZ) y Martín Aluja (ALU) mantienen árboles remanentes del bosque, por lo que su diversidad es la más alta; y asociada a ella, un gran

número de otros organismos (Cruz-Angón y Greenberg 2005; Hernández-Sánchez y García-Franco 2006).

RECOMENDACIONES

Los cafetales son un sistema productivo económicamente importante que funciona como refugio para una alta diversidad de epífitas, en particular bromelias y orquídeas. Las orquídeas pueden ser buenas representantes de la diversidad de epífitas vasculares en los cafetales. Aun cuando entre los tipos de cafetales, el policultivo diverso La Onza (ONZ) y el policultivo sencillo Virginia Armand (ARM) albergaron el mayor

Cuadro 5.4. Índice de Similitud de Jaccard (arriba de la diagonal) entre sitios estudiados, utilizando todas las especies de epífitas registradas en cada sitio (número en la diagonal), y las especies comunes entre los sitios (debajo de la diagonal). Clave de los sitios de estudio en el cuadro 5.1.

	CAÑ	PAR	ARM	MIR	ORD	VBM	ONZ
CAÑ	37	0.31	0.14	0.13	0.19	0.10	0.24
PAR	17	34	0.24	0.22	0.28	0.22	0.38
ARM	8	12	28	0.22	0.43	0.26	0.31
MIR	7	10	9	22	0.18	0.36	0.23
ORD	10	13	16	7	25	0.24	0.40
VBM	5	9	9	10	8	16	0.21
ONZ	13	18	14	10	16	8	31

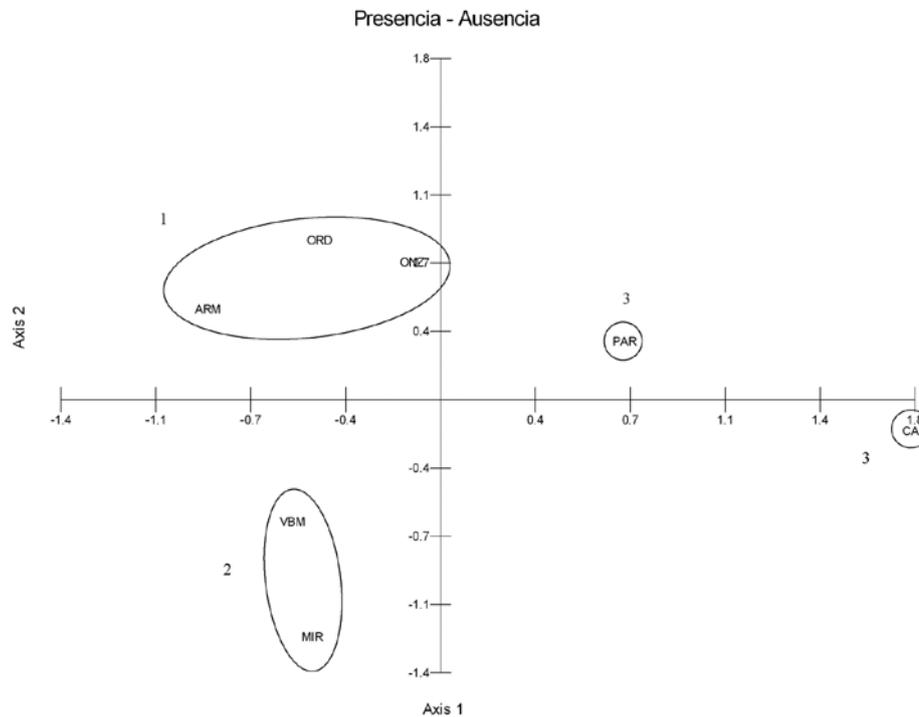


Figura 5.2. Análisis de componentes principales que muestra agrupaciones de los sitios que comparten todas las especies registradas (varianza explicada por los dos ejes 51.4 %) (Clave de los sitios en el cuadro 5.1).

número de especies, el tipo de manejo no parece afectar la presencia o ausencia de epífitas. Condiciones esenciales de los cafetales para funcionar como reservorios importantes de diversidad de epífitas vasculares, son el mantenimiento de árboles grandes y remanentes del bosque original.

- Sería deseable que los cafeticultores conserven los árboles de sombra más grandes.
- Especialmente se recomienda mantener los árboles remanentes del bosque original. La presencia de árboles con estas características favorece la existencia de una alta diversidad de especies epífitas dentro del cafetal, y puede ser una ventaja para la obtención de apoyo para el pago por los servicios ambientales que brinda el sistema.
- Si bien la definición de café de sombra para certificación puede incluir un dosel poco diverso, existen iniciativas que toman cada vez mayor fuerza para incluir en esta categoría al café que crece bajo el dosel de diversas especies y que proveen hábitat viable para aves migratorias (“Bird Friendly” del Smithsonian Migratory Bird

Center). De acuerdo con este esquema, el mantenimiento de un dosel con mayor variedad de especies nativas y donde se preserven las epífitas representa un sistema más biodiverso que debe ser favorecido por los consumidores.

- Dado que hasta el momento no se han evaluado los posibles efectos de la remoción de epífitas (destenche) sobre la productividad del cafetal, recomendamos que se evite esta práctica por los efectos adversos que tiene sobre la comunidad de aves, insectos y de la misma comunidad epífitas. Sugerimos que de llevarse a cabo se prefiera la poda de los árboles, lo que puede reducir el nivel de sombreado del dosel y mantener algunas epífitas, favoreciendo así la recolonización.
- Algunas de las especies de epífitas podrían ser removidas con base en un plan de aprovechamiento y cultivadas en viveros comerciales para su venta posterior (“canopy farming”). La comercialización de epífitas contribuiría a la diversificación del sistema productivo, funcionando como un incentivo para que los productores continúen con las prácticas de manejo de café de sombra.

REFERENCIAS

- Arriaga L, Espinoza JM, Aguilar C, Martínez E, Gómez L, Loa E. (coord.) 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México. México, D.F.
- Benzing DH. 1978. Germination and early establishment of *Tillandsia circinnata* Schlecht. (Bromeliaceae) on some of its hosts and other supports in Southern Florida. *Selbyana* 5:95-106.
- Challenger A. 1998. *Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México. Pasado, Presente y Futuro*. CONABIO. México, D.F. 847 p.
- Cruz-Angón A, Greenberg R. 2005. Are epiphytes important for birds in coffee plantations? An experimental assessment. *Journal of Applied Ecology* 42:150-159.
- Ewel J. 1980. Tropical succession: Manifold routes to maturity. *Biotropica* 12:2-7.
- Flores-Palacios A, García-Franco JG. 2001. Sampling methods for vascular epiphytes: their effectiveness in recording species richness and frequency. *Selbyana* 2:181-191.
- Flores-Palacios A, García-Franco JG. 2004. Effect of isolation on structure and nutrient content of a oak epiphyte communities. *Plant Ecology* 176:259-269.
- Flores-Palacios A, Valencia-Díaz S. 2007. Local illegal trade reveals unknown diversity and involves a high species richness of wild vascular epiphytes. *Biological Conservation* 136:372-387.
- Gentry AW, Dodson CH. 1987. Diversity and biogeography of neotropical vascular epiphytes. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 74:205-233.
- Gradstein SR, Nadkarni NM, Krömer T, Holz I, Nöske N. 2003. A protocol for rapid and representative sampling of vascular and non-vascular epiphyte diversity of tropical rain forest. *Selbyana* 24:105-111.
- Greenberg R, Bichier P, Sterling J. 1997. Bird populations in rustic and planted shade coffee plantations of eastern Chiapas. *Biotropica* 29:501-514.
- Hernández-Sánchez AA, García-Franco JG. 2006. Invertebrados asociados a la epífita *T. heterophylla* (Bromeliaceae) en ambientes estacionales y contrastantes del centro de Veracruz. *Entomología mexicana* 5(2):1026-1031.
- Hietz P. 2005. Conservation of vascular epiphyte diversity in Mexican coffee plantations. *Conservation Biology* 19:391-399.
- Hietz-Seifert U, Hietz P., Guevara S. 1995. Epiphyte vegetation and diversity on remnant trees after forest clearance in southern Veracruz, Mexico. *Biological Conservation* 75:103-111.
- Hofstede RGM, Wolf JHD, Benzing DH. 1993. Epiphytic biomass and nutrient status of a Colombian upper montane rain forest. *Selbyana* 14:37-45.
- Holbrook NM. 1991. Small plants in high places: the conservation and biology of epiphytes. *Trends in Ecology and Evolution* 6:314-315.
- Hsu CC, Horng FW, Kuo CM. 2002. Epiphyte biomass and nutrient capital of a moist subtropical forest in north-eastern Taiwan. *Journal of Tropical Ecology* 18:659-670
- Johanson D. 1974. Ecology of vascular epiphytes in West African rain forests. *Acta Phytogeographica Suecica* 59:1-130.
- Johnson MD. 2000. Effect of shade-tree species and crop structure on the winter arthropod and bird communities in a Jamaican shade coffee plantation. *Biotropica* 31:133-145.
- Manson RH. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques* 10:3-20
- Moguel P, Toledo VM. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13:11-21.
- Nadkarni NM, Matelson TJ. 1989. Bird use of epiphyte resources in neotropical trees. *Condor* 91:891-907.
- Nadkarni NM, Schaefer D, Matelson TJ, Solano R. 2004. Biomass and nutrient pools of canopy and terrestrial components in a primary and a secondary montane cloud forest, Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 198:223-236
- Nadkarni NM. 1986. The nutritional effects of epiphytes on host trees with special reference to alteration of precipitation chemistry. *Selbyana* 9:44-51.
- Nadkarni NM. 1988. Tropical rainforest ecology from a canopy perspective. En: Almeida F, Pringel CM, editors. *Tropical rainforest: diversity and conservation*. California Academy of Sciences, San Francisco, California. p 189-208.
- Padmawathe R, Qureshi Q, Rawat GS. 2004. Effects of selective logging on vascular epiphyte diversity in a moist lowland forest of Eastern Himalaya, India. *Biological Conservation* 119:81-92
- Rzedowski J. 1978. *La vegetación de México*. Limusa, México.
- Rzedowski J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta botánica Mexicana* 14:3-21.
- Rzedowski J. 1993. Diversity and origins of the fanerogamic flora of Mexico. En: T. P. Ramamoorthy, Bye R, Lot A, Fa J, editors. *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution*. Oxford University Press, New York. p. 139-144.
- Slak NG. 1976. Host specificity of bryophytic epiphytes in eastern North America. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 41:107-132.
- Solís-Montero L, Flores-Palacios A, Cruz-Angón A. 2005. Shade-coffee plantations as refuges for tropical wild orchids in central Veracruz, Mexico. *Conservation Biology* 19:908-916.
- Turner IM, Tal HTW, Ibrahim AB, Chew PT, Corlett RT. 1994. A study of plant species extinction in Singapore:

- Lessons for the conservation of tropical biodiversity. *Conservation Biology* 8:705-712
- Williams-Linera G. 1992. El bosque de montaña: un ecosistema muy frágil. En: Castillo-Campos G, Mejía-Saulés T, editores. *Los recursos vegetales*. Serie Problemática ambiental en el Estado de Veracruz. Instituto de Ecología, Xalapa. p 51-58.
- Zhu H, Xu ZF, Wang H, Li BG. 2004. Tropical rain forest fragmentation and its ecological and species diversity changes in southern Yunnan. *Biodiversity and Conservation* 13:1355-1372.

APÉNDICE 5.1. ESPECIES DE EPÍFITAS, NÚMERO DE INDIVIDUOS (NO. IND.) Y FRECUENCIA (PORCENTAJE DEL NÚMERO DE SITIOS EN QUE SE REGISTRARON LAS ESPECIES) REGISTRADOS EN LOS CAFETALES Y FRAGMENTOS DE BOSQUE ESTUDIADOS. LAS SIGLAS INDICAN ABUNDANCIA (a = ABUNDANTE + DE 1000 INDIVIDUOS, m = REGULAR DE 100 A 340 INDIVIDUOS, e = ESCASA 24-70 INDIVIDUOS, r = RARA 1-3 INDIVIDUOS) Y SU FRECUENCIA DE REGISTRO EN LOS SITIOS (+f = MUY FRECUENTE 7-12 SITIOS, f = FRECUENTE 5-6 SITIOS, -f = POCO FRECUENTE 1-3 SITIOS). CLAVES DE LOS SITIOS EN CUADRO 5.1, LAS SIGLAS EN NEGRITAS INDICAN LOS SITIOS DONDE SE ESTUDIARON LAS ESPECIES DE CADA GRUPO DE EPÍFITAS.

Familia	Especie	CAÑ	PAR	ESM	VSC	VSE	ALU	MIR	ONZ	VBM	ZOP	ARM	AUR	ORD	No. ind.	Frec.
Araceae	<i>Anthurium scandens</i> (m, +f)		26	46			20	38	20	8		43		2	203	0.67
	<i>Monstera</i> sp. (r, -f)							1							1	0.08
	<i>Philodendron</i> sp. (r, -f)	2													2	0.08
Araliaceae	<i>Oreopanax xalapensis</i> (r, -f)	2							1						3	0.17
Bromeliaceae	<i>Catopsis nutans</i> (e, +f)	17	4	2		6		8	8	3	3		24		64	0.58
	<i>Catopsis sessiliflora</i> (e, f)	1	14	3		11		6	6				6		41	0.50
	<i>Catopsis</i> sp. 1 (e, f)	7	16	7		2		2	2				16		50	0.50
	<i>Catopsis</i> sp. 2 (r, -f)	13													13	0.08
	<i>Racinaea ghiesbreghtii</i> (e, -f)	16						20							36	0.17
	<i>Tillandsia butzii</i> (e, -f)	6	9	10											25	0.25
	<i>Tillandsia depeana</i> (e, -f)	49													49	0.08
	<i>Tillandsia fasciculata</i> (m, +f)	2	5	4		3	253		1	2	62		8		340	0.75
	<i>Tillandsia filifolia</i> (r, -f)	3							1						1	0.08
	<i>Tillandsia foliosa</i> (m, f)	1	2	15		84		19	19	2	17		104		229	0.50
	<i>Tillandsia heterophylla</i> (e, +f)	1				4		17	17	3	5		14		61	0.67
	<i>Tillandsia ionantha</i> (e, -f)	7	100	217	3	2	92	16	41	81	83	235	439		62	0.17
	<i>Tillandsia juncea</i> (a, +f)	13													1316	1.00
	<i>Tillandsia leiboldiana</i> (r, -f)								8	4	7	6	13		13	0.08
	<i>Tillandsia limbata</i> (e, +f)			2		4		1	8	4	3				45	0.67
	<i>Tillandsia lucida</i> (r, -f)	2	66												3	0.08
	<i>Tillandsia multicaulis</i> (e, -f)	14	3	16				1	53	8	54	30	38		68	0.17
	<i>Tillandsia polystachya</i> (m, +f)		18						1						203	0.67
	<i>Tillandsia punctulata</i> (e, -f)														33	0.25
	<i>Tillandsia recurvata</i> (r, -f)				3										3	0.08
	<i>Tillandsia schiedeana</i> (a, +f)	3	250	1	1	85	54	54	43	145	99	157	234		1072	0.92
	<i>Tillandsia</i> sp. (r, f)	4	1		2			1	1	2	2	5			10	0.42
	<i>Tillandsia streptophylla</i> (r, -f)	1			2				4	210	1	1	3		8	0.25
	<i>Tillandsia tricolor</i> (m, f)	18			2										238	0.50

APÉNDICE 5.1. ESPECIES DE EPÍFITAS, NÚMERO DE INDIVIDUOS (No. ind.) Y FRECUENCIA (PORCENTAJE DEL NÚMERO DE SITIOS EN QUE SE REGISTRARON LAS ESPECIES) REGISTRADOS EN LOS CAFETALES Y FRAGMENTOS DE BOSQUE ESTUDIADOS. LAS SIGLAS INDICAN ABUNDANCIA (a = ABUNDANTE + DE 1000 INDIVIDUOS, m = REGULAR DE 100 A 340 INDIVIDUOS, e = ESCASA 24-70 INDIVIDUOS, r = RARA 1-3 INDIVIDUOS) Y SU FRECUENCIA DE REGISTRO EN LOS SITIOS (+f = MUY FRECUENTE 7-12 SITIOS, f = FRECUENTE 5-6 SITIOS, -f = POCO FRECUENTE 1-3 SITIOS). CLAVES DE LOS SITIOS EN CUADRO 5.1, LAS SIGLAS EN NEGRITAS INDICAN LOS SITIOS DONDE SE ESTUDIARON LAS ESPECIES DE CADA GRUPO DE EPÍFITAS. (CONTINUACIÓN)

Familia	Especie	CAÑ	PAR	ESM	VSC	VSE	ALU	MIR	ONZ	VBM	ZOP	ARM	AUR	ORD	No. ind.	Frec.
A) Bromelias y especies conspicuas																
Cactaceae	<i>Tillandsia usneoides</i> (m, +f)	42	2	56			10	2	14	2					128	0.58
	<i>Epiphyllum</i> sp. (r, -f)								6						6	0.08
Loranthaceae	<i>Rhipsalis baccifera</i> (m, +f)	30	32	1			24	3	20	5	13	62		16	206	0.83
	<i>Phoradendron</i> sp. (r, -f)			9	1					1					11	0.25
	<i>Psittacanthus schiedeana</i> (r, -f)					1		8	1						10	0.25
Lycopodiaceae	<i>Struthanthus</i> sp. (r, -f)			1											1	0.08
Polypodiaceae	<i>Huperzia</i> sp. (r, -f)							1	3						4	0.17
Rubiaceae	<i>Phlebodium areolatum</i> (m, f)	7	23				4	14		52					100	0.42
	<i>Coffea arabica</i> (r, -f)								1						1	0.08
	Número de individuos de bromelias y conspicuas	174	374	661	22	4	408	412	270	519	269	629	0	917	4659	
	Número de especies de bromelias y conspicuas	19	17	14	8	3	15	13	21	12	10	13	0	13		
B) Orchidaceae																
Familia	Especie	CAÑ	PAR	ESM	VSC	VSE	ALU	MIR	ONZ	VBM	ZOP	ARM	AUR	ORD	No. ind.	Frec.
Orchidaceae	<i>Brassia verrucosa</i> (e, -f)	19	2					14							35	0.38
	<i>Campylocentrum micranthum</i> (e-f)	2	27						2						31	0.38
	<i>Coelia triptera</i> (r, -f)		2					1							3	0.25
	<i>Comparettia falcata</i> (r, -f)		2						6						8	0.25
	<i>Dichaea guatemalensis</i> (r, -f)	2													2	0.13
	<i>Dichaea intermedia</i> (r, -f)	2													2	0.25
	<i>Dichaea muricata</i> (r, -f)	3	2												5	0.13
	<i>Dichaea neglecta</i> (r, -f)		3												3	0.25
	<i>Dichaea squarrosa</i> (r, -f)		1									8			9	0.13

<i>Eleocharis</i> sp. (r, -f)				4					4	0.13
<i>Encyclia candolei</i> (r, -f)					2				2	0.63
<i>Encyclia ochracea</i> (e, f)	3			20	3			5	41	0.38
<i>Encyclia polybulbon</i> (e, -f)				16				9	38	0.13
<i>Encyclia</i> sp. (r, -f)	2								2	0.13
<i>Epidendrum chlocorymbos</i> (r, -f)				4					4	0.13
<i>Epidendrum secundum</i> (r, -f)							1		1	0.13
<i>Epidendrum</i> sp. (r, -f)							2		2	0.25
<i>Gongora truncata</i> (e, -f)	30	8							38	0.63
<i>Isochilus linearis</i> (e, f)		18						1	35	0.13
<i>Isochilus</i> sp. (r, -f)		12							12	0.13
<i>Isochilus unilateralis</i> (r, -f)	4								4	0.25
<i>Jacquinella equitantifolia</i> (r, -f)									7	0.38
<i>Jacquinella leucomelana</i> (e, -f)	9	9							24	0.13
<i>Jacquinella</i> sp. 1 (r, -f)									5	0.13
<i>Jacquinella</i> sp. 2 (r, -f)									2	0.13
<i>Jacquinella</i> sp. 3 (r, -f)									9	0.13
<i>Jacquinella</i> sp. 4 (r, f)									3	0.25
<i>Jacquinella teretifolia</i> (r, -f)		5							7	0.25
<i>Laelia anceps</i> (r, -f)									7	0.25
<i>Leochilus carinatus</i> (r, -f)		17							19	0.13
<i>Leochilus oncidioide</i> (r, -f)									8	0.13
<i>Lepanthes</i> sp. (r-f)									1	0.13
<i>Lycaste aromatica</i> (r, -f)		10							10	0.25
<i>Lycaste deppei</i> (r, -f)	1	10							11	0.38
<i>Malaxis densa</i> (e, -f)		2							55	0.38
<i>Masdevallia floribunda</i> (e, -f)	11								40	0.13
<i>Maxillaria cucullata</i> (r, -f)	2								2	0.63
<i>Maxillaria densa</i> (e, f)									49	0.13
<i>Maxillaria elatior</i> (r, -f)									4	0.38
<i>Maxillaria variabilis</i> (r, -f)	2								6	0.13
<i>Nidema boothii</i> (r, -f)									2	0.13
<i>Notylia barkeri</i> (r, -f)									2	0.13
<i>Oncidium maculatum</i> (r, -f)	2								2	0.25
<i>Pleurothallis</i> sp. 1 (r, -f)		7							8	0.13
<i>Pleurothallis</i> sp. 2 (r, -f)		2							2	0.38
<i>Pleurothallis tribuloides</i> (r, -f)		1							12	0.13
<i>Restrepia ophiocephala</i> (r, -f)									1	0.63
<i>Scaphyglottis livida</i> (m, f)									134	0.13

APÉNDICE 5.1. ESPECIES DE EPÍFITAS, NÚMERO DE INDIVIDUOS (No. IND.) Y FRECUENCIA (PORCENTAJE DEL NÚMERO DE SITIOS EN QUE SE REGISTRARON LAS ESPECIES) REGISTRADOS EN LOS CAFETALES Y FRAGMENTOS DE BOSQUE ESTUDIADOS. LAS SIGLAS INDICAN ABUNDANCIA (a = ABUNDANTE + DE 1000 INDIVIDUOS, m = REGULAR DE 100 A 340 INDIVIDUOS, e = ESCASA 24-70 INDIVIDUOS, r = RARA 1-3 INDIVIDUOS) Y SU FRECUENCIA DE REGISTRO EN LOS SITIOS (+f = MUY FRECUENTE 7-12 SITIOS, f = FRECUENTE 5-6 SITIOS, -f = POCO FRECUENTE 1-3 SITIOS). CLAVES DE LOS SITIOS EN CUADRO 5.1, LAS SIGLAS EN NEGRITAS INDICAN LOS SITIOS DONDE SE ESTUDIARON LAS ESPECIES DE CADA GRUPO DE EPÍFITAS. (CONTINUACIÓN)

B) Orchidaceae	Especie	CAÑ	PAR	ESM	VSC	VSE	ALU	MIR	ONZ	VBM	ZOP	ARM	AUR	ORD	No. ind.	Frec.
	<i>Sobralia macrantha</i> (r, -f)	1													1	0.13
	<i>Stelis purpurascens</i> (r, -f)	1													1	0.25
	<i>Stelis</i> sp.(r, -f)	7											2		9	0.25
	Número de individuos de Orchidaceae	84	129	0	0	0	0	51	148	6	0	138	33	100	689	
	Número de especies de Orchidaceae	18	17	0	0	0	0	9	10	4	0	15	10	12		
	Número total de individuos registrados	258	503	661	22	4	408	463	418	525	269	767	33	1017	5348	
	Número total de especies de epífitas registradas	37	34	14	8	3	15	22	31	16	10	28	10	25		

Helechos

KLAUS MEHLTRETER

Resumen

Se supone que los cafetales de sombra pueden servir como reservorio para la biodiversidad porque conservan una estructura de vegetación similar al bosque mesófilo de montaña. Se estudió la capacidad de los cafetales para conservar la riqueza y abundancia de helechos en cuatro tipos de cafetales de diferente manejo: dos policultivos diversos, tres policultivos sencillos, tres cafetales con sombra especializada, uno al sol y tres bosques. De las 73 especies encontradas en el área total muestreada (1.2 ha), 56.2% fueron del bosque, 19.2 % de cafetales y 24.6% estuvieron compartidas. En los dos bosques más conservados se encontraron 33 especies con 300 a 600 individuos/0.1 ha. Los policultivos diversos conservaron 17 a 21 especies/0.1 ha con baja dominancia y densidad similar de especies, pero menor diversidad beta que en los bosques. Los cafetales con manejo más intensivo alcanzan una abundancia mayor de individuos, pero dado que pocas especies tienen dominancia alta, la diversidad se restringe a menos de 16 especies, principalmente epifitas comunes de amplia distribución y especies no nativas, pero ninguna especie nativa protegida. En los manejos donde se aplican agroquímicos, la diversidad y abundancia de los helechos disminuye a 4-7 especies/0.1 ha y 125-170 individuos/0.1 ha.

Abstract

Shade coffee plantations are supposed to serve as a refuge for species of the cloud forest, because of their similar vegetation structure. The study investigated the capacity for the conservation of species richness and abundance of ferns in four types of coffee plantations under different management: two diverse polycultures, three simple polycultures, three shaded monocultures, one unshaded monoculture, and three forest fragments. Seventy-three fern species were recorded in the total sampled area of 1.2 ha; 56.2% were exclusive to the forest, 19.2% restricted to coffee plantations and 24.6% shared between both. The two most diverse forest sites conserved 33 species with 300-600 individuals/0.1 ha. Only the diverse polycultures keep a considerable diversity of 17-21 especies/0.1 ha, low dominance and similar species density, but lower β -diversity than in forests. The more intensively managed coffee plantations may have high fern abundances, because of few, mostly common and widely distributed epiphytes and some introduced species. Because of their high dominance, diversity is less than 16 species and does not include native or protected ones. Once there are applied agrochemicals, diversity and abundance decreases to 4-7 species/0.1 ha and 125-170 individuals/0.1 ha.

INTRODUCCIÓN

Los helechos comprenden alrededor de 10,000 especies en el mundo y están representados por 1008 especies en México (Mickel y Smith 2004). Constituyen aproximadamente 3% de la diversidad vegetal estimada para México (Toledo y Ordoñez 1998). Como muchos otros grupos de plantas y animales, los helechos están también afectados por el cambio del uso del suelo, que reduce la disponibilidad de hábitat adecuados para su supervivencia. Jenkins (2003) supone que en las próximas décadas la mayoría de especies silvestres podrán sobrevivir únicamente dentro de ecosistemas protegidos. En las selvas altas perennifolias, su diversidad local puede alcanzar desde 21 especies/100 m² (Costa Rica; Whitmore *et al.* 1985) hasta 50 especies/ha (Ecuador; Poulsen y Nielsen 1995). Sin embargo, los helechos son más diversos en las elevaciones medias de áreas tropicales montañosas, especialmente donde predomina el bosque mesófilo de montaña o bosque de neblina (Mehltreter 1995). En los bosques andinos de Bolivia se registraron hasta 47.9 especies en cuadros de 400 m² (Kessler 2001, 2002). En México, estos bosques son las áreas más perturbadas y modificadas por el hombre, reemplazando la vegetación original por viviendas, carreteras, y agroecosistemas como pastizales, cultivos de caña y cafetales (Challenger 1998). Los cafetales de sombra son el agroecosistema estructuralmente más similar al bosque original debido a la presencia de un estrato de árboles de sombra, un estrato de arbustos representado por el café y un estrato herbáceo compuesto por pastos, hierbas y helechos. Por esta similitud estructural entre bosque mesófilo de montaña y cafetales de sombra, se supuso que los cafetales pueden servir además de su función primaria del cultivo de café, como un reservorio de diversidad de animales (Moguel y Toledo 1999, Perfecto y Armbrecht 2003) y plantas (Hietz 2005), entre estas últimas, los helechos (Carreño 2006). Los helechos tienen diminutas esporas, entre 20 y 50 µm de diámetro, por lo cual se dispersan fácilmente por el viento, y colonizan nuevas áreas favorables para su desarrollo. Por esta razón, se espera que una parte de los helechos sobreviva en los cafetales, y que su diversidad y abundancia sea un indicador relativo de la salud del agroecosistema, y del grado de su manejo, como por ejemplo del uso de agroquímicos. El objetivo del presente estudio fue comparar la diversidad y abundancia de los helechos en un gradiente de manejo de bosque a diferentes

cafetales de sombra y cafetal de sol en el centro del estado de Veracruz. Las preguntas que se formularon fueron las siguientes:

1. ¿Cuál es la proporción y cuáles son las especies de helechos del bosque mesófilo de montaña que pueden sobrevivir en los cafetales?
2. ¿Cuántas de estas especies están bajo alguna categoría de protección?
3. ¿Cómo influye el manejo de los cafetales en la diversidad y abundancia de helechos?
4. ¿Pueden los cafetales de policultivo diverso conservar una proporción significativa de la diversidad de los helechos para merecer el pago de servicios ambientales?

MATERIAL Y MÉTODOS

Se determinó la riqueza (número de especies) y abundancia (número de individuos) de los helechos terrestres y epífitos (hasta una altura de 2 m de los troncos de árboles de sombra y arbustos de café) en doce sitios, nueve cafetales de cuatro diferentes tipos de manejo: dos sitios de policultivo diverso (PD), tres sitios de policultivo sencillo (PS), tres sitios de sombra especializada (SE), un sitio de café de sol (SOL), y tres sitios de fragmentos de bosque como control. En cada sitio se muestrearon diez cuadros de 10 × 10 m, un total de 1000 m². Las especies fueron identificadas con las claves de Mickel y Smith (2004) y clasificadas según Smith *et al.* (2006), quienes reconocen 37 familias en 11 órdenes y 4 clases.

Para determinar lo completo del muestreo respecto al número posible de especies, se utilizó el estimador no-paramétrico de diversidad de Chao 2 (Magurran 2004, Colwell 2006). La diversidad se caracterizó por medio de los índices de diversidad de Shannon y Simpson, y el índice de dominancia de Berger-Parker (Clarke y Gorley 2001). Para determinar si las diferencias de riqueza y abundancia entre sitios fueron significativas, se aplicaron ANDEVAs (Análisis de varianza) no-paramétricas de Kruskal-Wallis, seguido por pruebas de comparación múltiple de Tukey.

Como índices independientes del esfuerzo de muestreo, se utilizaron el promedio de la diversidad taxonómica (DT) y la variación de la diversidad taxonómica VARDT (Taxonomic distinctness; Clarke y Gorley 2001, Clarke y Warwick 2001), y el proce-

dimiento TAXDTEST para determinar alteraciones significativas de la composición florística ($p < 0.05$). La diversidad taxonómica se definió para tres niveles taxonómicos como la distancia entre dos especies del mismo sitio, cuyo valor es 33.3 si las especies pertenecen al mismo género; 66.6 si pertenecen a diferentes géneros de la misma familia y; 100 si pertenecen a diferentes familias. DT se calcula como el promedio de los valores de cada posible combinación de pares de especies encontradas en un sitio y VARDT su varianza. TAXDTEST compara el valor de la DT de un sitio con el de la lista completa de las especies de todos los sitios estudiados, para detectar diferencias significativas en la composición florística (Clarke y Gorley 2001, Clarke y Warwick 2001).

La similitud entre sitios fue investigada por medio del número de especies compartidas, y el índice de similitud de Jaccard (Magurran 2004), que considera la matriz de datos de presencia-ausencia de las especies. Para tomar en cuenta las abundancias de cada especie por sitio, se transformaron los datos por la cuarta raíz ($\text{valor transformado} = \sqrt[4]{\text{valor original}}$), disminuyendo de esta manera la influencia de especies comunes en comparación con las especies raras. Después se realizaron tres análisis con el software PRIMER 5, un análisis de clasificación (cluster) sobre la matriz de similitud de Bray-Curtis para agrupar los sitios por su composición florística de helechos, una ordenación no métrica multidimensional (MDS) para presentar las similitudes entre sitios por medio de distancias en dos dimensiones, y un análisis de similitud (ANOSIM como prueba estadística sencilla de permutación) de las diferencias entre sitios (Clarke y Gorley 2001, Clarke y Warwick 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diversidad de helechos

El estimador de diversidad Chao 2 indica que para todos los sitios se observaron entre 60 y 100% del número de especies estimado con excepción de dos policultivos sencillos (ORD, 58%; ARM, 39%; Cuadro 6.1). Los altos valores del estimador Chao 2 y su desviación estándar indican la alta heterogeneidad de los cafetales en donde se encuentra una mezcla de áreas de manejo intensivo y áreas poca manejadas o perturbadas, con una densidad muy baja de matas de café. La heterogeneidad causa la fuerte aglomeración

de especies en pocos cuadros y debilita la utilidad del estimador Chao 2 que tiene como uno de sus requerimientos la homogeneidad de la vegetación en el área de muestreo. Sin embargo, Chao 2 estima para los cafetales con menos de ocho especies observadas una riqueza sustancialmente menor que para los cafetales con 12 a 21 especies observadas (Cuadro 6.1).

En los doce sitios juntos se encontraron 73 especies de helechos (incluida una especie de *Psilotum*) y 5603 individuos en una superficie total muestreada de 1.2 ha. Los dos sitios de bosque mesófilo de montaña más conservados tienen 33 especies de helechos en una densidad de 300 a 600 plantas/0.1 ha. El índice de dominancia de Berger-Parker fue de 12 a 15, que significa que entre 12 y 15% de los individuos pertenecen a la especie más abundante. El sitio de bosque más perturbado (PAR) tiene el menor número de especies (27), pero el mayor número de individuos (939). La alta dominancia de la especie más abundante (Berger-Parker = 49.5) significa que las especies restantes están representadas con un menor número de individuos y que la comunidad de helechos es menos equitativa y más desequilibrada. Los cafetales con policultivo diverso contienen una alta riqueza de 17 a 21 especies de helechos por sitio, seguido por los cafetales de policultivos sencillos (4-16 spp.) y de sombra especializada (7-15 spp.) (Cuadro 6.1). Sin embargo, considerando la densidad de las especies y la abundancia de los individuos por 100 m² (Figura 6.1), hubo pocas diferencias significativas entre sitios. Los policultivos diversos y el café de sol alcanzan una densidad de especies comparable con los sitios de bosque, pero mientras en los primeros el recambio de las especies entre cada uno de los cuadros de 100 m² es alto, en el segundo se repiten casi por completo las mismas siete especies en cada cuadro. La mayor abundancia de helechos en los sitios SOL y ORD son consecuencia de una alta densidad de plántulas de especies epífitas en el sitio y la dominancia de una sola especie (*Pleopeltis crassinervata*) que proporciona más de 70% de los individuos (Apéndice 6.1), mientras en el sitio de bosque PAR se debe a una sola especie terrestre *Blechnum appendiculatum* que presenta 49.5% de todos los individuos, y es un indicador de perturbación ya que crece a lo largo de caminos y sobre pequeños derrumbes. En los cafetales con baja diversidad y menos de 200 plantas por 1000 m², se supone que hay un efecto de supresión por la aplicación de agroquímicos, especialmente herbicidas. Las especies que sobreviven en estos sitios bajo estas

Cuadro 6.1. Riqueza (S) y abundancia (N) de especies de helechos, índices de diversidad (Shannon y Simpson), estimador de diversidad Chao 2 (promedio \pm 1 DE), e índice de dominancia Berger-Parker en tres fragmentos de bosque mesófilo de montaña y nueve cafetales bajo diferentes tipos de manejo (B = Bosque, PS = Policultivo Sencillo, PD = Policultivo Diverso, SE = Sombra Especializada, Sol = Cafetal sin sombra). Los sitios están ordenados por intensidad de manejo (Capítulo 2).

Sitio	Nombre	Tipo Manejo	Especies S	Individuos N	Shannon H	Simpson (1-D)	Chao 2	Berger Parker
CAÑ	Las Cañadas	B	33	583	2.74	0.92	45 \pm 8.6	12.0
PAR	Parque Ecológico	B	27	939	2.04	0.73	35 \pm 5.9	49.5
MAS	La Mascota	B	33	308	2.91	0.93	53 \pm 12.7	14.6
ARM	Armand	PS	16	164	1.95	0.80	41 \pm 24.2	26.2
MIR	El Mirador	PD	21	270	2.50	0.89	33 \pm 13.1	24.8
ZOP	Zopilote	PS	4	170	0.87	0.51	4 \pm 0.1	64.1
ORD	La Orduña	PS	7	791	0.75	0.38	12 \pm 7.2	77.1
ONZ	La Onza	PD	17	694	2.21	0.87	19 \pm 2.2	19.4
VCS	La Vequia							
	Café Estándar	SE	12	213	1.66	0.75	13 \pm 1.5	29.6
VSE	La Vequia Sombra Especializada	SE	15	154	2.03	0.79	18 \pm 3.2	35.7
MTZ	Martínez	SE	7	125	1.08	0.52	10 \pm 4.0	67.2
SOL	Teocelo Sol	Sol	7	1192	1.00	0.46	7 \pm 0.4	71.6

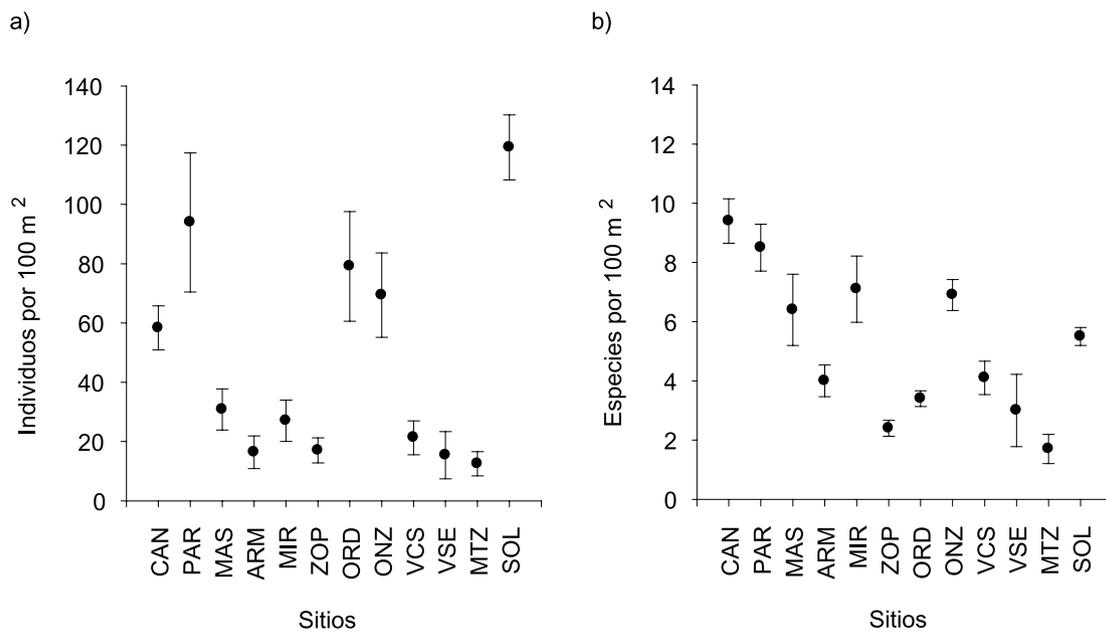


Figura 6.1 a. Densidad de especies y b. abundancia de individuos por 100 m² en tres bosques (izquierda) y nueve cafetales (derecha). CAÑ = Las Cañadas, PAR = Parque Ecológico, MAS = La Mascota, ARM = Armand, MIR = El Mirador, ZOP = Zopilote, ORD = La Orduña, ONZ = La Onza, VCS = La Vequia Café Estándar, VSE = La Vequia Sombra Especializada, MTZ = Martínez, SOL = Teocelo Sol. Media \pm 1 error estándar.

condiciones podrían ser resistentes a estas sustancias dañinas o simplemente tienen un ciclo de vida corto que les permite rehabilitar su población por medio de un banco de esporas en el suelo.

Los índices de diversidad y dominancia coinciden en gran parte con los resultados por número de especies y abundancia. Los dos bosques más naturales (CAÑ y MAS) tienen índices de Shannon superiores a 2.5, de Simpson superiores a 0.9, y de Berger-Parker inferiores a 15. Los tres índices separan claramente dos grupos de cafetales, los cuatro cafetales de menor diversidad y mayor dominancia (SOL, ORD, MTZ, ZOP) de los otros cinco cafetales de diversidad y dominancia intermedia (Cuadro 6.1), solo el orden varía algo dentro de cada uno de los dos grupos. Si la diversidad taxonómica (DT) es baja, la distancia entre cada par de especies es corta y la mayoría de las especies en un sitio pertenecen a pocos géneros o familias (Figura 6.2). Esto ocurrió especialmente en los sitios ORD y SOL donde todas las especies pertenecen a tres familias Polypodiaceae, Pteridaceae y Thelypteridaceae (Apéndice 6.1). Si la VARDT es alta, varias familias están representadas por una sola especie, como en los sitios MTZ, VCS y ARM, que además siguen teniendo baja diversidad taxonómica por la dominancia de las especies en las otras tres familias (Figura 6.2). El hecho que el sitio de

bosque CAÑ también tuvo una menor diversidad taxonómica que la esperada, podría deberse a un sesgo en el muestreo. Todos los cuadros tuvieron una distancia de por lo menos 30 m del arroyo principal, donde se encuentra la mayor diversidad de helechos.

Similitud entre sitios

La composición de las comunidades de helechos difirió significativamente tanto entre los cafetales y los bosques en general como dentro de los cafetales y dentro de los sitios de bosque (ANOSIM de dos vías con sitios anidados dentro de dos tipos de vegetación, $R = 0.59$, $P < 0.05$). La distancia geográfica y la variación florística entre los sitios de bosques se refleja en los bajos valores del índice de similitud de Jaccard de 0.25 a 0.38 (Cuadro 6.2). Esta baja similitud (= alto recambio de especies, alta β -diversidad) entre los bosques mesófilos de montaña es característica por la fragmentación y las diferencias microambientales derivadas de la heterogeneidad topográfica. Cuarenta y una (56% del total) de las 73 especies estaban restringidas a los bosques. Los cafetales con 12 a 21 especies son más semejantes entre ellos con valores del índice de Jaccard entre 0.39 y 0.59 (Cuadro 6.2). Solamente los policultivos diversos conservan

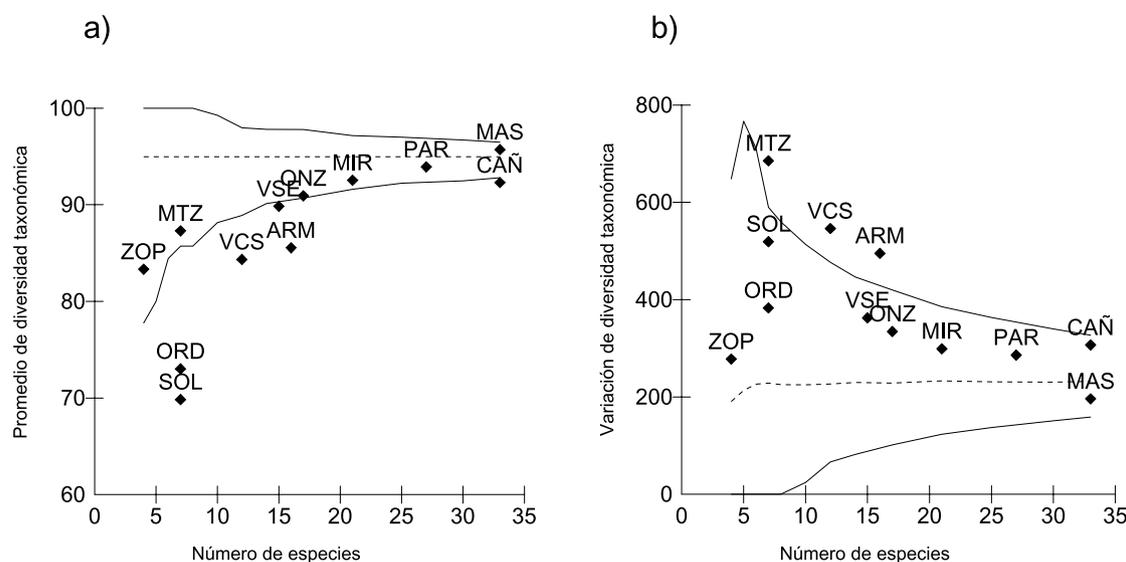


Figura 6.2. a. Promedio y b. Varianza de la diversidad taxonómica en los doce sitios del estudio. Ambas curvas muestran el promedio (líneas punteadas) y los intervalos de confianza de 95% (líneas continuas) para 999 permutaciones de pares aleatorias de la lista completa de especies (Apéndice 6.1). ARM = Armand, CAÑ = Las Cañadas, MAS = La Mascota, MIR = El Mirador, MTZ = Martínez, ONZ = La Onza, ORD = La Orduña, PAR = Parque Ecológico, SOL = Teocelo Sol, VCS = La Vequia Café Estándar, VSE = La Vequia Sombra Especializada, ZOP = Zopilote.

Cuadro 6.2. Similitud florística de especies de helechos entre los 12 sitios de estudio expresada como el índice de similitud de Jaccard (arriba de la diagonal) el cual representa la proporción de especies compartidas entre pares de sitios: 0 es completamente diferente, 1 es completamente similar, y como el número de especies compartidas (debajo de la diagonal). Siglas de los sitios (CAÑ = Las Cañadas, PAR = Parque Ecológico, MAS = La Mascota, ARM = Armand, MIR = El Mirador, ZOP = Zopilote, ORD = La Orduña, ONZ = La Onza, VCS = La Vequia Café Estándar, VSE = La Vequia Sombra Especializada, MTZ = Martínez, SOL = Teocelo Sol).

	CAÑ	PAR	MAS	ARM	MIR	ZOP	ORD	ONZ	VCS	VSE	MTZ	SOL
CAÑ	xxx	0.25	0.38	0.17	0.20	0.09	0.11	0.14	0.15	0.17	0.08	0.14
PAR	12	xxx	0.25	0.19	0.26	0.11	0.10	0.26	0.22	0.20	0.10	0.13
MAS	18	12	xxx	0.26	0.26	0.09	0.14	0.25	0.22	0.17	0.14	0.18
ARM	7	7	10	xxx	0.42	0.25	0.35	0.57	0.56	0.41	0.44	0.44
MIR	9	10	11	11	xxx	0.14	0.22	0.46	0.43	0.44	0.22	0.33
ZOP	3	3	3	4	3	xxx	0.38	0.24	0.33	0.19	0.22	0.38
ORD	4	3	5	6	5	3	xxx	0.26	0.27	0.29	0.17	0.40
ONZ	6	9	10	12	12	4	5	xxx	0.38	0.39	0.41	0.41
VCS	6	7	8	10	10	4	4	8	xxx	0.59	0.27	0.46
VSE	7	7	7	9	11	3	5	9	10	xxx	0.22	0.38
MTZ	3	3	5	7	5	2	2	7	4	4	xxx	0.40
SOL	5	4	6	7	7	3	4	7	6	6	4	xxx

un número notable de las especies del bosque (p. ej. *Campyloneurum angustifolium*, *Marattia laxa*, *Thelypteris rudis*), mientras que los otros cafetales tienen una flora pteridofítica distinta de los bosques. Cada cafetal no compartió más que entre 8 y 26% de las especies del bosque, y 14 de las 73 especies (19% del total) solo ocurrieron en cafetales. Las especies más comunes de los cafetales son heliofitas que requieren más luz y que se desarrollan como epífitas sobre árboles aislados (p. ej. *Polypodium pyrrolepis*) o en claros o áreas perturbadas (p. ej. *Thelypteris imbricata*, *T. tetragona*), mientras otras especies poco abundantes pueden ser remanentes de la vegetación original (p. ej. *Adiantopsis radiata*, *Anogramma leptophylla*, *Asplenium pumilum*). Ninguna de estas especies compartidas con el bosque está actualmente protegida por las leyes mexicanas. Los cafetales de diversidad y dominancia intermedia albergan algunas especies terrestres muy comunes como *Blechnum appendiculatum* y otras de carácter de maleza o de origen introducida, como *Macrothelypteris torresiana* y *Thelypteris dentata*. En los cafetales de diversidad baja (SOL, ORD, MTZ, ZOP) faltan las especies anteriores y solo se conservan las especies epífitas más comunes y de amplia distribución como *Phlebodium areolatum*, *Pleopeltis angusta*, *Pleopeltis crassinervata* y *Polypodium furfuraceum*, y muy pocas especies remanentes de baja abundancia.

El análisis de clasificación demuestra tres clados principales, uno de los bosques y dos de los cafetales,

que coinciden con cuatro de los cafetales de diversidad intermedia y los tres cafetales de diversidad baja (SOL, ORD, ZOP). Solo el sitio MTZ forma un propio clado (Figura 6.3a). El análisis de ordenación multidimensional (MDS) separa los sitios de la misma manera, pero demuestra todavía mejor la disimilitud entre los tres sitios de bosque, y agrupa cercanamente los cafetales de diversidad intermedia (Figura 6.3b). Además, el MDS separa claramente a los cafetales de baja diversidad, y da al sitio MTZ una distancia singular con ARM como el sitio más similar. Los cafetales MTZ y ARM son geográficamente muy cercanas, pero en MTZ una finca de sombra especializada disminuyó la diversidad de helechos de manera significativa, indicando un manejo más intenso que en la finca ARM que es un cafetal de policultivo sencillo.

RECOMENDACIONES

Aunque la mayoría de los helechos del bosque mesófilo de montaña son demasiado sensibles para sobrevivir en los cafetales, éstos pueden servir como reservorios de una tercera parte de la diversidad de helechos, y por la alta disimilitud (β -diversidad) entre cafetales pueden contener hasta 43.8% de la flora pteridofítica regional. Los policultivos diversos contribuyen de mejor manera a la conservación de estas especies, mientras

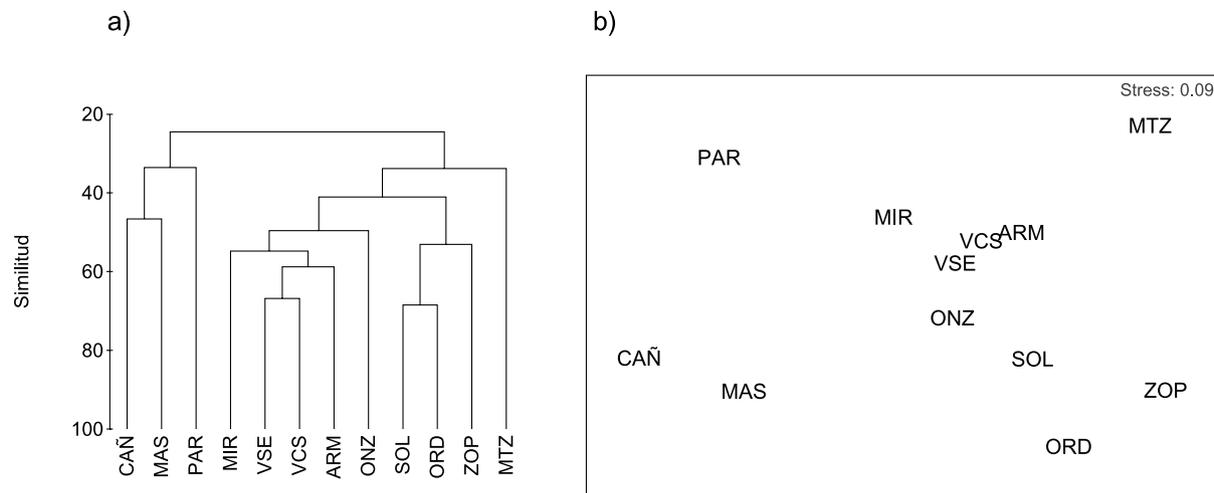


Figura 6.3. a. Cladograma de similitud de Bray-Curtis con abundancias de helechos, estandarizadas y transformadas por la raíz cuarta. Modo de cluster de promedio de grupo. b. Ordenación multi-dimensional (MDS) sobre la misma matriz. Las distancias representan los rangos de las disimilitudes entre los 12 sitios en dos dimensiones con un bajo factor de estrés de 0.09. ARM = Armand, CAÑ = Las Cañadas, MAS = La Mascota, MIR = El Mirador, MTZ = Martínez, ONZ = La Onza, ORD = La Orduña, PAR = Parque Ecológico, SOL = Teocelo Sol, VCS = La Vequia Café Estándar, VSE = La Vequia Sombra Especializada, ZOP = Zopilote.

los policultivos sencillos o sombra especializada demuestran un deterioro florístico significativo de los helechos, especialmente si utilizan agroquímicos como fertilizantes y herbicidas.

Se recomienda el uso de los helechos como indicadores del deterioro florístico que resulta por un intenso manejo de agroecosistemas, y para la evaluación de éstos cuando se aplican pagos por servicios ambientales para la conservación de la biodiversidad (Capítulo 20). Para conservar una alta diversidad vegetal, pero especialmente de helechos, se recomienda: a) manejar las fincas de manera orgánica sin uso de agroquímicos, b) conservar árboles viejos y de gran estatura como sustrato de especies epífitas, y c) mantener una cobertura del cafetal por diferentes especies de árboles de sombra, preferiblemente de especies nativas (*Alchornea*, *Erythrina*, *Heliocarpus*, *Trema*), y no un solo tipo de árboles (*Inga*). Todo lo anterior apoyará al cafeticultor cuando se decida entrar en el proceso de la certificación de café orgánico y el sistema de pagos por servicios ambientales con sus ventajas económicas correspondientes.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a José Luis González, Adriana C. Hernández y Javier Tolome por apoyar el trabajo de campo.

Este trabajo fue realizado con apoyo financiero del Instituto de Ecología, A.C. (902-11-796) y CONACYT-SEMARNAT (2002-C01-0194).

REFERENCIAS

- Carreño IG. 2006. *Evaluación de los cafetales bajo sombra y fragmentos de bosque adyacentes como hábitat para conservar la diversidad de los helechos en el estado de Veracruz, México*. Tesis de Maestría, Instituto de Ecología, A. C., Xalapa, México.
- Challenger A. 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*. México, D.F.: Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 847 p.
- Clarke RK, Gorley RN. 2001. *Primer v5: User Manual/ Tutorial*. Plymouth: PRIMER-E. 91 p.
- Clarke RK, Warwick RM. 2001. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. 2nd ed. Plymouth: PRIMER-E.
- Colwell RK. 2006. *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples*. Version 8 User's Guide and application published at <http://purl.oclc.org/estimates>
- Hietz P. 2005. Conservation of vascular epiphyte diversity in Mexican coffee plantations. *Conservation Biology* 19:391-399.
- Jenkins M. 2003. Prospects for biodiversity. *Science* 302:1175-1177.

- Kessler M. 2001. Pteridophyte species richness in Andean forests in Bolivia. *Biodiversity and Conservation* 10:1473-1495.
- Kessler M. 2002. Range size and its ecological correlates among the pteridophytes of Carrasco National Park, Bolivia. *Global Ecology and Biogeography* 11:89-102.
- Magurran A. 2004. *Measuring biological diversity*. Malden: Blackwell. 256 p.
- Mehlreter K. 1995. Species richness and geographical distribution of montane pteridophytes of Costa Rica, Central America. *Feddes Repertorium* 106:563-584.
- Mickel JT, Smith AR. 2004. *The pteridophytes of Mexico*. New York: New York Botanical Garden Press. 1054 p.
- Moguel P, Toledo V. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13:11-21.
- Perfecto I, Rice RA, Greenberg R, Van der Voort ME. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46:598-608.
- Perfecto I, Armbrecht I. 2003. The coffee agroecosystem in the Neotropics: Combining ecological and economic goals. In: Vandermeer JH, editor. *Tropical Agroecosystems*. Boca Raton, Florida: CRC Press. p. 157-192.
- Poulsen AD, Nielsen IH. 1995. How many ferns are there in one hectare of tropical rain forest? *American Fern Journal* 85:29-35.
- Smith AR, Pryer KM, Schuettpelz E, Korall P, Schneider H, Wolf PG. 2006. A classification of extant ferns. *Taxon* 55:705-731.
- Toledo VM, Ordoñez MJ. 1998. El panorama de la biodiversidad de México: una revisión de los hábitat terrestres. In: Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J, editores. *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. México: Instituto de Biología, UNAM. p. 739-757.

APÉNDICE 6.1. ABUNDANCIA (= NÚMERO DE INDIVIDUOS POR 0.1 HA) DE LAS ESPECIES DE HELECHOS EN TRES FRAGMENTOS DE BOSQUE Y NUEVE CAFETALES EN EL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO. LOS SITIOS ESTÁN ORDENADOS DE MENOR A MAYOR INTENSIDAD DE MANEJO (CAPÍTULO 2). FAMILIAS: ANE = ANEMIAEAE, ASP = ASPLENIACEAE, BLE = BLECHNACEAE, CYA = CYATHEACEAE, DEN = DENNSTAETIDIACEAE, DIC = DICKSONIACEAE, DRY = DRYOPTERIDACEAE, GLE = GLEICHENIACEAE, HYM = HYMENOPHYLLACEAE, MAR = MARATTIACEAE, OPH = OPHIOGLOSSACEAE, POL = POLYPODIACEAE, PSI = PSILOTACEAE, PTE = PTERIDIACEAE, THE = THELYPTERIDACEAE, WOO = WOODSIACEAE. SITIOS: CAÑ = LAS CAÑADAS, PAR = PARQUE ECOLÓGICO, MAS = LA MASCOYA, ARM = ARMAND, MIR = EL MIRADOR, ZOP = ZOPILOTE, ORD = LA ORDUÑA, ONZ = LA ONZA, VCS = LA VEQUIA CAFÉ ESTÁNDAR, VSE = LA VEQUIA SOMBRA ESPECIALIZADA, MTZ = MARTÍNEZ, SOL = TEOCELO SOL.

Especie	Familia				Bosques				Cafetales			
	CAÑ	PAR	MAS	ARM	MIR	ZOP	ORD	ONZ	VCS	VSE	MTZ	SOL
<i>Adiantopsis radiata</i>	PTE				31				2			
<i>Adiantum concinnum</i>	PTE	1						14				
<i>Adiantum macrophyllum</i>	PTE				3							
<i>Adiantum poiretii</i>	PTE	1										
<i>Alsophila firma</i>	CYA	3		3								
<i>Anemia phyllitidis</i>	ANE									2		
<i>Anograma leptophylla</i>	PTE							34				
<i>Antrophyum lanceolatum</i>	PTE						21					
<i>Asplenium auriculatum</i>	ASP	10	38									
<i>Asplenium harpeodes</i>	ASP	4		1								
<i>Asplenium miradorense</i>	ASP	66		4								
<i>Asplenium pumilum</i>	ASP				4			114			1	
<i>Asplenium sphaerosporum</i>	ASP	7										
<i>Asplenium tuerckheimii</i>	ASP						2					
<i>Blechnum appendiculatum</i>	BLE	53	465	30	4		4	94	10	10		
<i>Blechnum gracile</i>	BLE				2							
<i>Blechnum occidentale</i>	BLE	1					67			18		
<i>Blechnum schiedeanum</i>	BLE			9								
<i>Botrychium virginianum</i>	OPH		2									
<i>Campyloneurum angustifolium</i>	POL			1	2		4	6	11			
<i>Campyloneurum xalapense</i>	POL			1								
<i>Ctenitis equestris</i>	DRY	1		5			2					
<i>Ctenitis melanosticta</i>	DRY	3	6									
<i>Ctenitis submarginalis</i>	DRY		4									
<i>Gyathea bicrenata</i>	CYA			1								
<i>Gyathea divergens</i>	CYA	26		45			8				1	
<i>Dennstaedtia cicutaria</i>	DEN											
<i>Diplazium donnell-smithii</i>	WOO			1								
<i>Diplazium expansum</i>	WOO		22									

APÉNDICE 6.1. ABUNDANCIA (= NÚMERO DE INDIVIDUOS POR 0.1 HA) DE LAS ESPECIES DE HELECHOS EN TRES FRAGMENTOS DE BOSQUE Y NUEVE CAFETALES EN EL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO. LOS SITIOS ESTÁN ORDENADOS DE MENOR A MAYOR INTENSIDAD DE MANEJO (CAPÍTULO 2). FAMILIAS: ANE = ANEMIACEAE, ASP = ASPLENIACEAE, BLE = BLECHNACEAE, CYA = CYATHACEAE, DEN = DENNSTAEDTIACEAE, DIC = DICKSONIACEAE, DRY = DRYOPTERIDACEAE, GLE = GLEICHENIACEAE, HYM = HYMENOPHYLLACEAE, MAR = MARATTIACEAE, OPH = OPHIOGLOSSACEAE, POL = POLYPODIACEAE, PSI = PSILOTAACEAE, PTE = PTERIDACEAE, THE = TELYPTERIDACEAE, WOO = WOODSIACEAE. SITIOS: CAÑ = LAS CAÑADAS, PAR = PARQUE ECOLÓGICO, MAS = LA MASCOTA, ARM = ARMAND, MIR = EL MIRADOR, ZOP = ZORILOTE, ORD = LA ORDUÑA, ONZ = LA ONZA, VCS = LA VEQUIA CAFÉ ESTÁNDAR, VSE = LA VEQUIA SOMBRA ESPECIALIZADA, MTZ = MARTÍNEZ, SOL = TEOCELO SOL. (CONTINUACIÓN).

Especie	Familia	Bosques							Cafetales								
		CAÑ	PAR	MAS	ARM	MIR	ZOP	ORD	ONZ	VCS	VSE	MTZ	SOL				
<i>Diplazium lonchophyllum</i>	WOO	5		9													
<i>Elaphoglossum guatemalense</i>	DRY	11															
<i>Elaphoglossum lonchophyllum</i>	DRY	5															
<i>Elaphoglossum vestitum</i>	DRY	7															
<i>Gleichenella pectinata</i>	GLE			2													
<i>Hypolepis nigrescens</i>	DEN			24													
<i>Lophosoria quadripinnata</i>	DIC			5													
<i>Macrothelypteris torresiana</i>	THE		5			13			2								
<i>Marattia laxa</i>	MAR		1	17		4											
<i>Niphidium crassifolium</i>	POL	3															
<i>Pecluma sp. 1</i>	POL		36														
<i>Pecluma sursumcurrens</i>	POL	7		35													
<i>Phlebodium areolatum</i>	POL	5	7	21	10	13	3	31	88	48	13					60	
<i>Pleopeltis angusta</i>	POL	1		12	1	1		12	135						10		70
<i>Pleopeltis crassinervata</i>	POL	6	108	26	3	8	49	610	114	18	5	1				854	
<i>Pleopeltis fallax</i>	POL	66		2	8	32			4	40	5	7				20	
<i>Polypodium falcaria</i>	POL	54															
<i>Polypodium furfuraceum</i>	POL	7	11	3	43	8	109	128	41	2	63					145	
<i>Polypodium longipinnulatum</i>	POL	44															
<i>Polypodium plebeium</i>	POL	48	20	1	1	1				2							
<i>Polypodium polyodioides</i>	POL	1	20														
<i>Polypodium pyrholepis</i>	POL				2	21			4	84	16						42
<i>Polypodium rhodopleuron</i>	POL		63														
<i>Polypodium triseriale</i>	POL				1			1									
<i>Polystichum fournieri</i>	POL	2	10														
<i>Polystichum ordinatum</i>	POL	1															
<i>Psilotum complanatum</i>	PSI			16													
<i>Pteridium arachnoideum</i>	DEN	1															
<i>Pteridium caudatum</i>	DEN		2														

<i>Pteris orizabae</i>	PTE	70	3	7																
<i>Pteris quadriaurita</i>	PTE		28	1	1	5														
<i>Sticherus palmatus</i>	GLE			8																
<i>Terpsichore asplenifolia</i>	POL	3																		
<i>Thelypteris dentata</i>	THE		21	1	7	27														
<i>Thelypteris imbricata</i>	THE				55		9													
<i>Thelypteris linkiana</i>	THE				1															
<i>Thelypteris melanochlaena</i>	THE			5																
<i>Thelypteris oligocarpa</i>	THE		15	2																
<i>Thelypteris ovata</i> subsp. <i>lindheimeri</i>	THE		29			14														
<i>Thelypteris rudis</i>	THE	1	14	6																
<i>Thelypteris scalaris</i>	THE		4																	
<i>Thelypteris tetragona</i>	THE																			
<i>Trichomanes capillaceum</i>	HYM	5		3																
<i>Trichomanes radicans</i>	HYM	1		1																

Moscas (Insecta: Diptera)

VICENTE HERNÁNDEZ-ORTIZ Y JOSÉ F. DZUL-CAUICH

Resumen

Durante un ciclo anual, se evaluó la diversidad y estructura de la comunidad de familias de Diptera presentes en dos estratos (dosel y suelo) de cinco cafetales con diferente cobertura de sombra, y en un fragmento de bosque mesófilo de montaña. En cada finca se utilizaron dos métodos de muestreo, con 4 necro-trampas NTP (suelo) y 4 trampas McPhail (dosel). En total se registraron 38 familias de Diptera en todas las fincas (incluyendo el fragmento de bosque), de las cuales 28 fueron registradas en el suelo (119,294 ejemplares), y 36 familias fueron registradas en el dosel (20,463 ejemplares). La comunidad del dosel estuvo representada por proporciones de abundancia y riqueza equivalentes en todas las estaciones del año, en cambio, la comunidad del suelo mostró una clara estacionalidad con el mayor índice de capturas durante el verano. La dipterofauna del dosel mostró un gradiente de similitud, que en lo general coincide con las diferencias observadas en la estructura de la vegetación; las mayores diferencias entre estas comunidades fueron observadas entre el fragmento de bosque (CAÑ) y la finca sin sombra (SOL), pero a su vez, cada una de ellas respecto a las fincas de sombra diversificada (MIR, ORD, ONZ) y sombra especializada (VSE). Por su parte, los índices de similitud entre las comunidades del suelo mostraron la segregación de dos grupos, cada uno con altos índices de similitud entre sí: el primero conformado por las fincas MIR, VSE y SOL, y el segundo grupo integrado por las fincas ONZ, ORD y CAÑ, en este caso, tales diferencias no parecen estar relacionadas con la estructura de la vegetación.

Abstract

During a yearly cycle, the diversity and structure of the Diptera communities occurring in two strata (canopy and ground) of five coffee plantations with different shade structure, as well as in a portion of natural cloud forest were assessed. Two sampling methods were used for each orchard, 4 necrotraps (NTP) for the ground, and 4 McPhail traps for the canopy. As a whole 38 families of Diptera became registered in all orchards, from which 28 were only represented at ground (119,294 specimens); while 36 were recorded at canopy (20,463 specimens). The community of the canopy was recorded as similar ratios of abundance and richness along the year, while the ground community showed a clear seasonality with higher capture indices during summer. The Dipteran fauna recorded from the canopy showed a gradient of similarity, which agrees with the complexity of the shade structure; higher differences among the communities were observed between the forest (CAÑ) and the coffee orchard with no shade (SOL), but also, each of them respect to diversified shade coffee orchards (MIR, ORD, ONZ), and the specialized shade orchard (VSE). Although the similarity indices observed in the ground community, two groups were yielded: the first including the orchards MIR, VSE, and SOL; and a second group comprising the orchards ONZ, ORD, and CAÑ. Such differences in this case, appeared not to be related with the shade structure of vegetation.

INTRODUCCIÓN

La expansión e intensificación de las prácticas agrícolas en los sistemas cafetaleros han tenido un impacto sobre la biodiversidad, debido principalmente a la deforestación de los bosques naturales en donde persisten estos agroecosistemas. Los árboles de sombra en los cafetales proporcionan beneficios mejorando la fertilidad del suelo, limitando el crecimiento de malezas, favoreciendo el control de las condiciones microclimáticas y permitiendo la existencia de polinizadores y de controladores naturales de organismos potencialmente nocivos.

En la actualidad, el orden Diptera comprende alrededor de 124,000 especies descritas de moscas y mosquitos, las cuales están representadas por 128 familias en todo el mundo. Estos insectos poseen hábitos alimentarios muy diversos, puesto que incluyen especies fitófagas relacionadas con muy diferentes tipos de plantas; degradadores de restos vegetales y animales; depredadores y parasitoides que funcionan como controladores naturales de otros artrópodos; en tanto que otras especies actúan como polinizadores o incluso como vectores de enfermedades (Skevington & Dang 2002). Existen antecedentes en México de un estudio sobre la diversidad de artrópodos asociados a cafetales mixtos en Chiapas. En ese estudio se encontró que el orden Diptera fue uno de los grupos más abundantes y el más diverso representado por 51 familias (Ibarra-Núñez 1990).

Varios autores han propuesto el uso de taxa de alto rango (e.g., géneros, familias) para evaluar la diversidad biológica, considerando que existe una relación positiva entre el número de especies y el número de taxa superiores de diversos grupos en diferentes áreas geográficas (Gaston & Williams 1993, Balmford *et al.* 1996). La riqueza de taxa de alto rango constituye un razonable sustituto del valor de la biodiversidad expresado como riqueza de especies e indirectamente como riqueza fenotípica (caracteres) y genotípica (genes) (Martín-Piera 2000).

Para investigaciones prácticas de la diversidad, la determinación de la composición de la fauna a nivel de taxa de alto rango tiene una ventaja por su bajo costo y su fácil realización, en comparación con la determinación de la riqueza de especies (Williams y Gaston 1994). En este sentido, el uso de los Diptera basado en la identificación de familias tiene un alto potencial para evaluar la biodiversidad de ciertos eco-

sistemas, tal como ha ocurrido con el uso de familias de Coleoptera (Hall 2003, Kitching *et al.* 2004).

Basset *et al.* (2003) sostienen que el dosel de los bosques tropicales albergan la mayor diversidad de las comunidades de artrópodos, y podrían constituir los hábitat más ricos en especies de la tierra, sin embargo, la fauna que habita en la hojarasca del suelo de los bosques tropicales constituye otro fuerte competidor en términos de biodiversidad (Stork 1988).

El presente estudio se realizó con la finalidad de evaluar la diversidad de familias de Diptera presentes en fincas cafetaleras con diferentes tipos de estructura de la vegetación de sombra. La hipótesis de trabajo plantea que las modificaciones en la estructura de la vegetación de sombra en los cafetales, tienen un impacto directo sobre la diversidad y abundancia temporal de la comunidad de dípteros que habitan en ellos, debido a los cambios en el paisaje y a la disponibilidad de recursos que ciertos grupos requieren para su desarrollo. Por ello, los objetivos de esta investigación fueron:

- a) Determinar la diversidad y estacionalidad de las familias de Diptera que ocurren en diferentes sistemas cafetaleros y en un fragmento de bosque mesófilo de montaña.
- b) Comparar la similitud de las comunidades de dípteros capturados en dos estratos (dosel y suelo).
- c) Comparar las diferencias entre la estructura de la vegetación con la similitud faunística de las fincas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sitios de estudio

El estudio se llevó a cabo en seis fincas, cinco de ellas representadas por cafetales con diferentes sistemas de manejo, además de un fragmento de Bosque Mesófilo de Montaña utilizado como sitio control (descripción detallada de los sitios estudiados en el Capítulo 2).

CAÑ = Las Cañadas: fragmento de bosque mesófilo de montaña. 1,360 msnm, Municipio de Huatusco.

MIR = El Mirador: cafetal con sombra diversificada. 1,010 msnm, Municipio de Totutla.

ORD = Orduña: cafetal con sombra diversificada. 1,200 msnm, Municipio de Coatepec.

ONZ = La Onza: cafetal con sombra diversificada. 1,100 msnm, Municipio de Xico.

VSE = La Vequia: cafetal con sombra especializada. 1,064 msnm, Municipio de Totutla.

SOL = Teocelo (Buenavista): cafetal de sol (sin cobertura de sombra). 1,110 msnm, Municipio de Teocelo.

Uso de trampas

Durante el ciclo anual de marzo 2004-febrero 2005 se realizaron colectas mensuales mediante la instalación simultánea de un total de 48 trampas en las seis fincas. En cada finca se determinó una parcela de aproximadamente una hectárea, en donde se colocaron 4 trampas McPhail de plástico, con la parte superior transparente y la parte inferior de color amarillo; así como 4 trampas NTP (necrotrampas); en todos los casos, las trampas fueron separadas entre sí por una distancia aproximada de 25 m.

Las trampas McPhail fueron cebadas con una solución de proteína hidrolizada (15 ml), bórax (5 g) y agua (250 ml), ubicadas en el dosel a una altura de 4-5 m, con excepción de las trampas del cafetal SOL, las cuales fueron colgadas en la parte superior de los arbustos de café (altura aproximada de 1.7-2 m). El promedio de exposición de las trampas McPhail en el dosel fue de 336 días/trampa para cada finca. Las trampas NTP se enterraron a nivel del suelo y fueron cebadas con calamar en descomposición, con una solución de alcohol-acidulado (9:1) para preservar los organismos capturados. El promedio de exposición de las trampas NTP del suelo fue de 1440 días/trampa por cada finca. El material recuperado en todos los sitios fue etiquetado y preservado en alcohol 70% y posteriormente cuantificado y determinado a nivel de familia siguiendo las claves de McAlpine *et al.* (1981).

Análisis de datos

La estructura de la vegetación fue analizada mediante la obtención de los valores promedio de diversas variables en cada una de las fincas: altura máxima y promedio del dosel, además de ciertos parámetros de la vegetación leñosa como su densidad total (ind/ha), área basal total (m²/ha), altura de hierba, porcentajes de la cobertura de hierba, la hojarasca, y suelo desnudo, además de el número de especies promedio de los puntos examinados (véase Capítulo 4). Con base en estos parámetros se realizaron los análisis de fun-

ciones discriminantes mediante el uso del programa Statistica (2006).

La diversidad alfa de cada finca fue analizada mediante la obtención de sus índices de diversidad, dominancia y equidad, mientras que la diversidad beta fue calculada mediante los índices de similitud de Bray-Curtis. Estos análisis se realizaron con la ayuda del programa Primer v5 (Clarke y Gorley 2001).

Índice de diversidad de Shannon:

$$H' = - \sum P_i \log_e (P_i)$$

donde: p_i = abundancia proporcional de la especie i

Índice de dominancia de Simpson:

$$\text{Lambda} = \sum p_i^2$$

Índice de Equidad de Pielou:

$$J' = H' / \log_e S$$

donde: S = número de familias

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de funciones discriminantes basado en la estructura de la vegetación mostraron que existen diferencias de significancia entre las fincas estudiadas (Wilks' Lambda: 0.00645; aprox. $F(28,145) = 15.871$; $p < 0.0000$). Entre las variables responsables de tales diferencias destacan en orden de importancia: la altura máxima del dosel, la densidad total de la vegetación leñosa, la cobertura de hierba, las especies promedio por área de muestreo, el área basal total, y la altura promedio del dosel (Capítulo 4). El gráfico de las raíces canónicas mostró diferencias entre las fincas, segregando cuatro grupos distintos que denominamos de la siguiente forma (Cuadro 7.1, Figuras 7.1 y 7.2).

Bosque: corresponde a la finca CAÑADAS, la cual es un fragmento de Bosque Mesófilo de Montaña, con 53 especies de árboles principalmente representadas por especies nativas (96.2%).

Cafetal de Sombra Diversificada: este grupo incluye las fincas MIRADOR, ONZA y ORDUÑA, cuyo estrato de sombra registró 37, 29 y 17 especies de árboles, respectivamente, con un porcentaje de especies nativas entre 72.4-83.8%.

Cafetal de Sombra Especializada: este grupo comprende la finca VEQUIA-SE, la cual registró 13 especies de árboles, pero con dos de ellas altamente dominantes (*Erythrina poeppigiana* e *Inga vera*).

Cuadro 7.1. Valores promedio y desviación estándar (DE) de diversas características de la estructura de la vegetación leñosa en las 6 fincas estudiadas. ADM = altura dosel máxima; ADP = altura dosel promedio; ABT = área basal total; DT = densidad total; HiA = altura de hierba; HiC = cobertura de hierba; HoC = cobertura de hojarasca; SD = suelo desnudo; SppP = especies promedio por área muestreada; SppT = especies totales por finca.

Variables	CAÑ(n = 10)	MIR(n = 11)	ONZ(n = 10)	ORD(n = 10)	VSE(n = 10)	SOL(n = 10)
ADM (m)	25.6 (2.4)	20.8 (2.6)	15.8 (3.6)	19.2 (4.0)	7.9 (1.6)	0
ADP (m)	10.9 (1.1)	12.6 (3.5)	6.7 (0.7)	10.5 (2.5)	5.5 (0.7)	0
ABT (m ² /ha)	29.3 (13.1)	18.2 (5.3)	16.3 (6.1)	16.4 (4.9)	7.8 (2.5)	0
DT (ind/ha)	684.0 (247.2)	136.5 (52.5)	209.8 (77.9)	164.8 (57.8)	265.4 (35.9)	0
HiA (cm)	25.2 (8.6)	24.6 (16.6)	34.4 (20.9)	11.8 (3.4)	13.1 (9.9)	29.6 (19.7)
HiC (%)	23.6 (15.2)	30.0 (17.2)	55.1 (16.3)	16.4 (9.9)	13.3 (12.8)	45.7 (19.5)
HoC (%)	63.6 (15.3)	54.6 (14.1)	35.3 (13.2)	70.7 (15.6)	72.5 (11.6)	28.4 (11.4)
SD (%)	13.1 (7.2)	15.9 (11.7)	9.7 (6.7)	12.9 (9.6)	14.2 (8.2)	25.9 (8.8)
SppP	17.2 (4.21)	8.7 (3.2)	10.2 (2.5)	6.3 (2.4)	3.0 (1.9)	0
SppT	53	37	29	17	13	0

Cafetal de Sol: incluyó solamente a la finca SOL, la cual carece de árboles de sombra.

Durante el ciclo anual se recolectaron un total de 576 muestras, de las cuales 288 correspondieron al dosel y 288 muestras fueron del suelo. En ambos estratos fueron recolectados un total de 139,757 especímenes, pertenecientes a 38 familias del orden Diptera. En general, se registró un mayor número de familias en el dosel (36) con un total de 20,463 especímenes y con una variación de 24 a 26 familias por finca; mientras que en las muestras del suelo se identificaron 28 familias representadas por 119,294 especímenes, con un rango de variación de entre 11 y 19 familias por finca. Las diferencias de capturas entre ambos estratos se podría explicar principalmente debido al periodo de exposición de las trampas NTP (en suelo), las cuales permanecieron durante un lapso cuatro veces mayor respecto a las trampas del dosel.

Los grupos más abundantes capturados en el dosel (>1000 ejemplares) correspondieron a las familias Drosophilidae, Phoridae, Chloropidae, Neriidae, Sarcophagidae, Ulidiidae y Muscidae, representando el 89.8% de los ejemplares registrados en todas las fincas para ese estrato. Los grupos con abundancias moderadas (<1000 ejemplares) estuvieron representados por ocho familias (e.g., Tachinidae, Tephritidae, Sphaeroceridae, Cecidomyiidae, y otras), con el 8.1% de las capturas en el dosel, mientras que las familias restantes fueron poco abundantes (<100 ejemplares) representando solo el 2.1% de las muestras.

Por su parte, las familias capturadas en el suelo estuvieron particularmente representadas por solo tres familias muy abundantes (>1000 ejemplares), Drosophilidae, Phoridae y Sphaeroceridae, las cuales incluyeron al 99.3% del total de capturas; las familias moderadamente representadas (<1000 ejemplares) apenas constituyen el 0.6% (e.g., Empididae, Muscidae, Sciaridae y Sarcophagidae), en tanto que las 21 familias restantes estuvieron muy pobremente representadas con menos de 100 ejemplares cada una (Apéndice 7.1).

La diversidad de familias observada en el presente estudio no es comparable con los resultados de Ibarra-Núñez (1990) obtenidos en Chiapas, quien registró 51 familias de Diptera mediante métodos de aspiración de organismos en las plantas. Esto se refleja en que las familias más abundantes en Chiapas fueron otras (Chironomidae, Cecidomyiidae y Ceratopogonidae), lo cual indica que tanto la época del año, como los métodos de muestreo utilizados para estimar la diversidad de Diptera son determinantes en este tipo de estudios.

En relación con la estacionalidad, las familias de Diptera registradas en el estrato del dosel presentaron una riqueza relativamente constante a lo largo del ciclo anual, con variaciones mensuales entre 17 y 26 familias, y una abundancia oscilante, con un incremento moderado en las estaciones de primavera y verano. Por el contrario, la riqueza observada en el estrato del suelo fluctuó entre 6 y 18 familias, con la mayor abundancia hacia finales del verano (agosto) y con una tendencia decreciente hacia las estaciones de otoño e

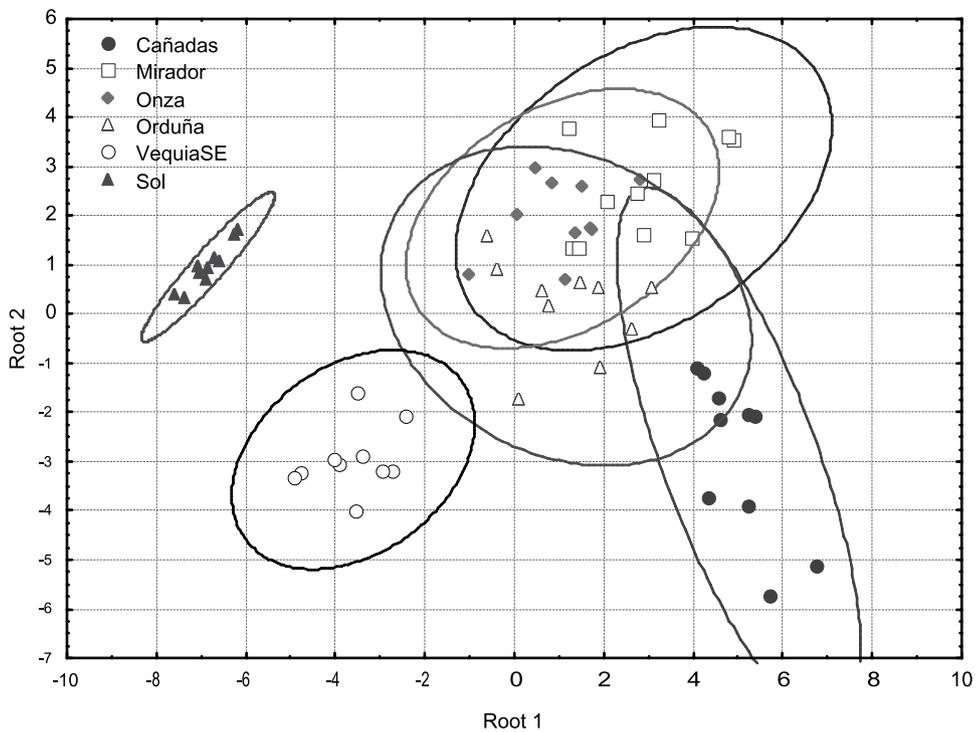


Figura 7.1. Análisis discriminante basado en la estructura de la vegetación entre las cinco fincas de café y el fragmento de bosque mesófilo de montaña. Las elipses representan el intervalo de confianza 95% para cada grupo.

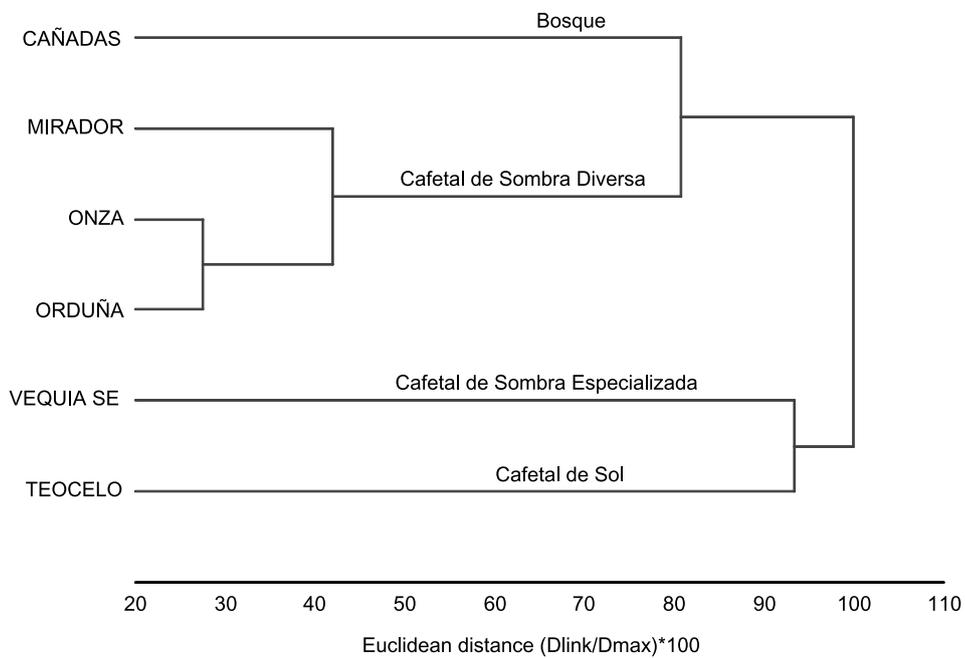


Figura 7.2. Dendrograma de similitud entre las seis fincas estudiadas, agrupadas con base en las distancias de Mahalanobis resultantes del análisis discriminante de la estructura de la vegetación.

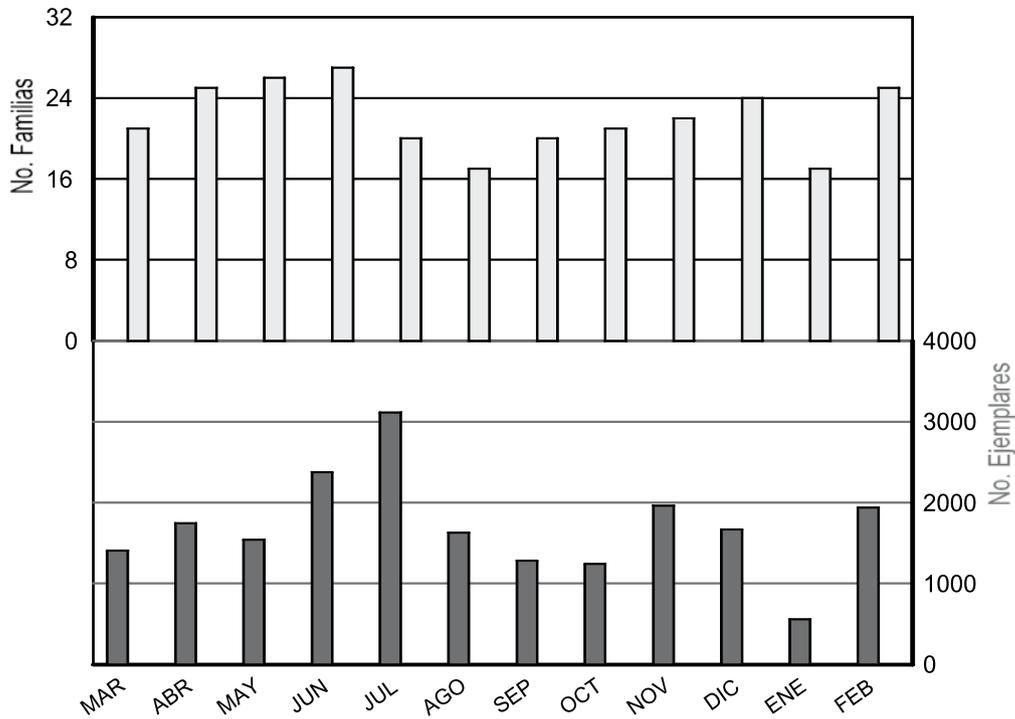


Figura 7.3. Estacionalidad de las familias de Diptera capturadas en el dosel a lo largo de un ciclo anual en seis fincas. Parte superior, número de familias; parte inferior, número de ejemplares.

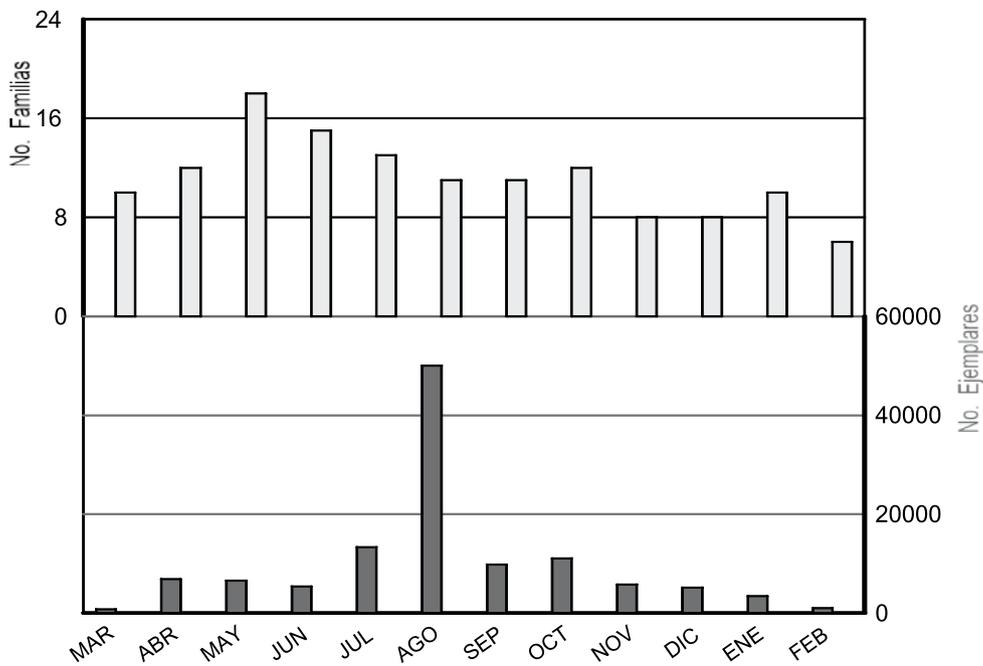


Figura 7.4. Estacionalidad de las familias de Diptera capturadas en el suelo a lo largo de un ciclo anual en seis fincas. Parte superior, número de familias; parte inferior, número de ejemplares.

invierno (Figuras 7.3 y 7.4). Estas diferencias de estacionalidad entre los estratos del dosel y el suelo, sugieren que el microclima generado por el dosel permite a la comunidad de dípteros mantener una abundancia y riqueza más constante a lo largo del año, en tanto que en el estrato del suelo, estos parámetros podrían estar relacionados particularmente con el incremento del régimen de lluvias y la temperatura media de las regiones estudiadas.

En general, los índices de diversidad observados en todas las comunidades del dosel, mostraron ser mayores en comparación con aquellas comunidades del suelo, a pesar de que las trampas colocadas en el dosel estuvieron expuestas por períodos más cortos.

En el estrato del dosel, el menor índice de diversidad se presentó en un cafetal de sombra diversa (ORD, $H' = 1.76$), mientras que el mayor índice de diversidad fue registrado en el cafetal de sol (SOL, $H' = 2.41$). En cambio, las fincas restantes mostraron escasas diferencias en sus índices de diversidad ($H' = 1.99 - 2.21$), aun cuando comprenden fincas con estructuras del dosel más complejas, tales como el bosque (CAÑ), dos fincas con cafetal de sombra diversa (MIR, ONZ), y el cafetal de sombra especializada (VSE). En el estrato del suelo, la diversidad de las fincas ORD y ONZ registraron los índices más bajos, $H' = 0.68$ y 0.77 , respectivamente, pero también, valores similares

se observaron en la finca CAÑ ($H' = 0.87$). Es destacable que la finca con cafetal de sol (SOL) registró el mayor índice de diversidad para las muestras del suelo ($H' = 1.19$), junto con la finca MIR ($H' = 1.08$) (Cuadro 7.2).

La comparación de estos resultados con los grupos de fincas observados con base en su estructura, indican que no existe una correspondencia de la complejidad de la estructura de sombra, con la diversidad de las fincas. Esto sugiere que no solamente los cambios en la macro-estructura de la vegetación de estos cafetales tienen un impacto directo sobre la diversidad de la comunidad de Díptera, sino que además, es necesario evaluar otros factores tales como la micro-estructura vegetal de las fincas (e.g., la diversidad y cobertura de herbáceas y su permanencia a lo largo del año), los cuales probablemente tendrían un papel muy importante para la diversidad de las comunidades de dípteros.

Estos resultados tendrían sustento en hipótesis previas, las cuales establecen que la transformación de los agroecosistemas cafetaleros y sus prácticas de manejo pueden alterar de manera importante su capacidad para albergar la diversidad biológica (Perfecto y Snelling 1995, Perfecto *et al.* 1997). Esto refuerza las ideas de Rice y Ward (1996), en el sentido de que la estricta comparación de la diversidad biológica entre sistemas cafetaleros con estructura “sombra *vs.* sol”,

Cuadro 7.2. Resultados de la diversidad observada en los estratos del dosel y el suelo.

	Riqueza	Abundancia	Diversidad	Dominancia	Equidad
DOSEL	S	N	H'	Lambda	J'
CAÑ	26	2755	1.99	0.21	0.61
MIR	24	3227	2.21	0.14	0.70
ORD	26	4630	1.76	0.26	0.54
ONZ	24	3269	2.12	0.15	0.67
VSE	24	4154	2.02	0.18	0.63
SOL	26	2428	2.41	0.13	0.74
SUELO					
CAÑ	16	18198	0.87	0.52	0.32
MIR	12	12879	1.08	0.37	0.44
ORD	19	49069	0.68	0.63	0.23
ONZ	16	21543	0.77	0.58	0.28
VSE	11	12626	0.93	0.48	0.39
SOL	18	4979	1.19	0.39	0.41

o de manejo “tradicional *vs* intensificado” es muy simplista. En cambio, ciertas diferencias sutiles en la composición y estructura de especies de sombra entre las fincas, pueden tener efectos significativos sobre las comunidades presentes (Johnson 2000).

Para evaluar la estructura de la comunidad de Diptera, se calcularon los índices de similitud entre las fincas y los estratos considerados. En términos generales, se demostró que existen amplias diferencias entre las comunidades del dosel y el suelo, esto debido probablemente a los distintos requerimientos de alimentación que tienen las especies que habitan cada estrato.

En el dosel, las diferencias observadas presentaron un gradiente de similitud en el cual dos cafetales de sombra diversa (MIR y ONZ) comparten el 86% de similitud entre sus comunidades. En cambio, al contrastar las comunidades de bosque (CAÑ) con VSE, SOL y ORD, se observaron los índices de similitud más bajos ($s = 65.1, 66.3$ y 69.6 , respectivamente), al igual que al comparar el cafetal de sol (SOL) con las fincas ORD, MIR, CAÑ y VSE ($s = 62.5, 64.7, 66.3$ y 66.6 , respectivamente). Los resultados mostraron que en los dos extremos de complejidad de la estruc-

tura de la vegetación, existen las mayores diferencias en la composición de las comunidades, sin embargo, no son necesariamente los sitios con mayor y menor diversidad, respectivamente. Por su parte, al comparar la similitud de comunidades del suelo se observó la conformación de dos grupos, el primero integrado por las fincas MIR, SOL y VSE ($s = 84.9-88.5$), mientras que el segundo grupo quedó integrado por las fincas ONZ, ORD y CAÑ ($s = 89.2-89.6$) (Cuadro 7.3, Figura 7.5).

Las diferencias entre el dosel y el suelo, respecto a la composición y diversidad sus comunidades de dípteros, sin duda están influenciadas por el tipo de trampas utilizadas en cada estrato, puesto que la naturaleza de los atrayentes utilizados es distinta. No obstante, es probable que la similitud registrada entre las comunidades del suelo, estaría relacionada con factores distintos a la complejidad de la estructura vegetal debido a la clara estacionalidad en ese estrato.

Si bien la estructura y composición del dosel contribuyen a determinar la composición de las comunidades de dípteros presentes en las fincas, también es necesario considerar las características del estrato herbáceo, el cual podría explicar los índices de diversidad registra-

Cuadro 7.3. Índices de similitud (Bray-Curtis) observados entre las doce muestras obtenidas del dosel y suelo. Índices de similitud en el triángulo superior; número familias compartidas en el triángulo inferior. En negritas se señalan los valores máximos y mínimos en cada estrato.

Estrato	DOSEL						SUELO					
	CAÑ	MIR	ORD	ONZ	VSE	SOL	CAÑ	MIR	ORD	ONZ	VSE	SOL
DOSEL												
CAÑ		76.4	69.6	72.0	65.1	66.3	42.3	48.7	43.2	44.0	48.5	52.5
MIR	22		73.2	86.0	77.1	64.7	46.0	47.0	46.0	46.0	44.0	49.1
ORD	21	18		75.4	67.4	62.5	45.1	42.7	45.9	46.5	37.7	43.2
ONZ	21	21	19		79.7	71.2	42.7	41.9	42.6	41.9	38.1	43.2
VSE	21	18	21	17		66.6	34.5	34.2	34.3	34.8	32.1	37.5
SOL	20	19	19	21	19		27.6	26.9	26.6	27.2	25.7	34.8
SUELO												
CAÑ	11	12	10	12	11	12		74.3	89.6	89.2	69.1	66.8
MIR	9	9	9	9	10	9	10		68.3	70.3	88.5	84.9
ORD	15	17	12	15	14	14	12	10		93.8	63.5	60.8
ONZ	11	13	13	11	12	12	11	8	12		66.1	63.7
VSE	11	11	9	11	8	10	10	8	10	8		86.2
SOL	15	15	13	15	13	16	13	10	14	11	11	

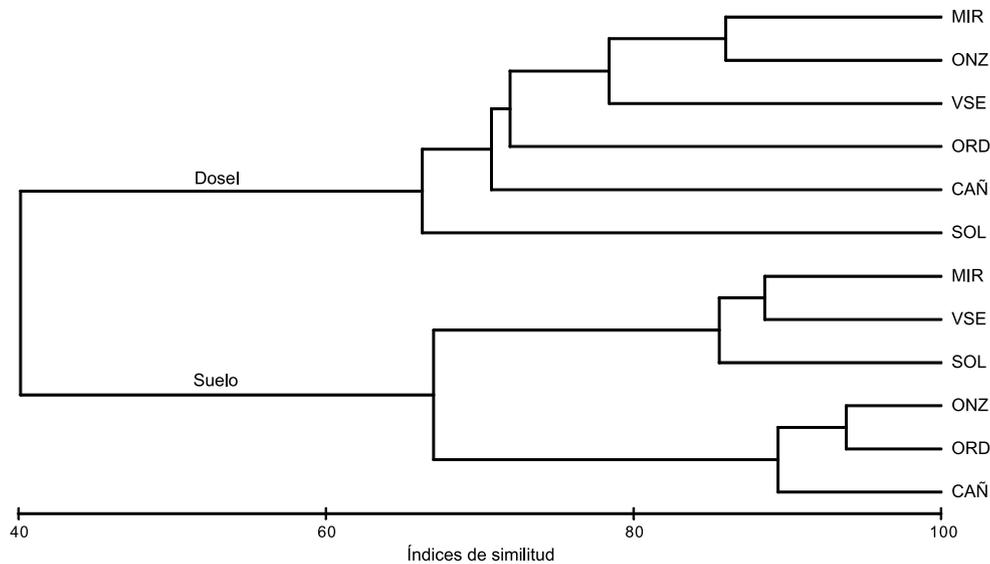


Figura 7.5. Dendrograma de similitud basado en los índices de similitud entre las seis fincas estudiadas, incluyendo todas las muestras del dosel y suelo.

dos en ciertos casos (por ejemplo, en el cafetal de sol), en donde muchos artrópodos se alimentan o dependen de esos recursos.

RECOMENDACIONES

Es importante considerar la reducción del uso de agroquímicos, en particular para el control de malezas, e intensificar en lo posible las medidas de control cultural, debido a que éstas constituyen reservorios importantes de numerosas comunidades de artrópodos que son fundamentales en las cadenas tróficas, ya que muchos de ellos actúan como controladores de insectos nocivos, y a su vez, sirven de alimento a otros vertebrados pequeños.

Para promover la conservación de la biodiversidad de Diptera, es recomendable el uso de cobertura de sombra, puesto que el dosel ayuda a mantener poblaciones importantes de diversas familias de moscas a lo largo del año, permitiendo la presencia de polinizadores potenciales, y otros grupos de depredadores o parásitos de diversos artrópodos.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a los dueños de las fincas por todas las facilidades otorgadas para la realización de

esta investigación: Ricardo Romero (Las Cañadas), Jorge A. Müller Grohmann (El Mirador), Ricardo García Camacho (La Onza), Raúl Monge Villalobos (Orduña), Sergio y Francisco de la Vequia Bernardi (La Vequia), y Dionisio Pérez J. (Buenavista). Asimismo agradecemos a nuestro colegas Cuauhtémoc Deloya L., Alejandro Pech M., y Sergio Ibañez B. por su ayuda durante la colecta de material en campo. También agradecemos a Jorge Valenzuela G. y un revisor anónimo por las sugerencias hechas al manuscrito. Esta investigación fue realizada en el Instituto de Ecología A.C. con financiamiento del proyecto denominado “Biocafé: Un estudio interdisciplinario sobre la conservación de la biodiversidad y los servicios ambientales del bosque mesófilo de montaña, en un gradiente de manejo de cultivo de café en el centro del estado de Veracruz” (SEMARNAT-2002-C01-0194).

REFERENCIAS

- Basset Y, Novotny V, Miller SE and Kitching RL. 2003. Canopy entomology, an expanding field of natural science. In: Basset Y *et al.*, editors. *Arthropods of tropical forests: spatio-temporal dynamics and resource use in the canopy*. Cambridge University Press. p. 4-6.
- Balmford A, Green MJB, and Murray MG. 1996. Using higher-taxon richness as a surrogate for species richness:

- I. Regional tests. *Proceedings of the Royal Society of London* 263:1267-1274.
- Clarke KL and Gorley NR. 2001. Primer v5: *Plymouth routines in multivariate ecological research*. Primer-E Ltd, Plymouth, UK.
- Gaston KJ and Williams PH. 1993. Mapping the world's species - the higher taxon approach. *Biodiversity Letters* 1:2-8.
- Hall S. 2003. Biodiversity conservation in agroecosystems: a comparison of surface-dwelling beetle diversity in various shade coffee production systems in Costa Rica. York University, Toronto, Ontario. Faculty of Environmental Studies. *Outstanding Graduate Student Paper Series* Vol. 7(2):1-27.
- Ibarra-Núñez G. 1990. Los artrópodos asociados a cafetos en un cafetal mixto del Soconusco, Chiapas, México. I. Variedad y abundancia. *Folia Entomológica Mexicana* 79:207-231.
- Johnson MD. 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.
- Kitching RL, Bickel D, Creagh AC, Hurley K and Symonds C. 2004. The biodiversity of Diptera in Old World rain forest surveys: a comparative faunistic analysis. *Journal of Biogeography* 31:1185-1200.
- Martín-Piera F. 2000. Estimaciones prácticas de biodiversidad utilizando taxones de alto rango. En: *Hacia un proyecto CYTED para el inventario y estimación de la diversidad entomológica en Iberoamérica: PRIBES 2000*. Martín-Piera F, Morrone JJ & Melic A, editores. Monografías tercer Milenio Vol 1, Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza, España. p. 35-54.
- McAlpine JF. 1981. Key to families - Adults. In: *Manual of Nearctic Diptera* Vol. 1, McAlpine JF, coordinator. Research Branch Agriculture Canada Monograph 27, Quebec, Canada. p. 89-124.
- Perfecto I and Snelling R. 1995. Biodiversity and the transformation of a tropical agroecosystem: ants in coffee plantations. *Ecological Applications* 5:1084-1097.
- Perfecto I, Vandermeer J, Hanson P and Cartián V. 1997. Arthropod biodiversity loss and the transformation of a tropical agro-ecosystem. *Biodiversity and Conservation* 6:935-945.
- Rice R, and Ward J. 1996. *Coffee, conservation, and commerce in the western hemisphere*. Smithsonian Migratory Bird Center, Washington, DC.
- Skevington JH and Dang PT. 2002. Exploring the diversity of flies (Diptera). *Biodiversity* 3:1-27.
- Statistica, 2006. *Statistica: data analysis software system, version 7.1*. StatSoft Inc., Tulsa, Oklahoma, USA.
- Stork NE. 1988. Insect diversity: facts, fiction and speculation. *Biological Journal of the Linnean Society* 35:321-337.
- Williams PH and Gaston KJ. 1994. Measuring more of biodiversity: can higher-taxon richness predict wholesale species richness? *Biological Conservation* 67:211-217.

APÉNDICE 7.1. LISTADO DE LAS FAMILIAS DE DIPTERA REGISTRADAS EN CADA UNA DE LAS FINCAS Y SU ABUNDANCIA A LO LARGO DE UN CICLO ANUAL. CAÑ= CAÑADAS, MIR= MIRADOR, ORD= ORDUÑA, ONZ= ONZA, VSE= VEQUIA SOMBRA ESPECIALIZADA, SOL= TEOCELO.

Diptera - Familias	CAÑ	MIR	ORD	ONZ	VSE	SOL	Total Ejem
Anisopodidae	2	1	1	4	0	7	15
Asilidae	1	0	0	0	0	0	1
Bibionidae	2	1	1	2	3	7	16
Calliphoridae	8	18	3	1	0	1	31
Cecidomyiidae	18	37	0	15	125	7	202
Ceratopogonidae	0	0	1	1	2	18	22
Chamaemyiidae	2	0	0	0	0	0	2
Chironomidae	0	0	1	1	0	1	3
Chloropidae	152	267	1827	333	285	388	3252
Clusiidae	21	45	12	5	0	0	83
Conopidae	0	0	2	1	0	0	3
Dolichopodidae	1	0	1	16	6	2	26
Drosophilidae	12,904	3559	39,212	16,530	2222	1042	75,469
Empididae	16	16	23	46	45	99	245
Lauxaniidae	2	4	3	1	3	9	22
Lonchaeidae	13	0	6	5	19	70	113
Micropezidae	17	29	33	25	17	0	121
Milichiidae	1	4	3	0	7	0	15
Muscidae	714	220	195	157	118	201	1605
Mycetophilidae	73	19	17	13	8	66	196
Neriidae	37	398	190	356	1404	71	2456
Phoridae	4301	7220	9183	4864	8710	3013	37,291
Platystomatidae	1	0	11	0	1	0	13
Psychodidae	0	0	2	0	0	0	2
Richardiidae	6	17	11	15	0	5	54
Sarcophagidae	104	350	191	454	576	663	2338
Scathophagidae	0	0	18	0	0	0	18
Scatopsidae	14	4	4	5	21	27	75
Sciaridae	12	20	68	36	18	165	319
Sepsidae	0	0	0	1	0	9	10
Sphaeroceridae	2308	3527	2406	1328	2567	1088	13,224
Stratiomyidae	3	1	1	0	1	0	6
Syrphidae	24	2	5	16	3	32	82
Tachinidae	48	12	42	42	44	145	333
Tephritidae	71	37	34	54	22	78	296
Tipulidae	7	4	2	0	1	18	32
Uliidiidae	70	294	190	485	552	173	1764
Xylomyidae	0	0	0	0	0	2	2
TOTAL/FINCA	20,953	16,106	53,699	24,812	16,780	7407	139,757

Hormigas (Insecta: Hymenoptera: Formicidae)

JORGE VALENZUELA-GONZÁLEZ, LUIS QUIROZ-ROBLEDO
Y DORA L. MARTÍNEZ-TLAPA

Resumen

Se estudió la riqueza, diversidad, abundancia y distribución por estratos de las hormigas presentes en cinco fincas cafetaleras con diferentes estructuras de sombra y en un fragmento de bosque mesófilo de montaña. Se utilizaron varios métodos de captura (trampas, colecta directa y mini-Winkler), dependiendo de los estratos muestreados (subterráneo, epigeo, hojarasca, cafetos y vegetación arbórea). En total se encontraron 106 especies de hormigas pertenecientes a 6 subfamilias y 37 géneros. Los resultados obtenidos mostraron que el tipo de vegetación de sombra en los cafetales influye sobre la riqueza, diversidad y abundancia de las hormigas. En general, tanto la riqueza como la diversidad aumentan conforme se incrementa la complejidad de la estructura arbórea, mientras que la abundancia presentó una tendencia inversa. Los porcentajes de similitud obtenidos (índice de Jaccard) muestran, en general, una composición de especies bastante diferente entre el bosque y los cafetales y, en menor grado, también entre los cafetales estudiados. La comunidad de hormigas del bosque presentó una alta equidad mientras que la mayoría de los cafetales muestran una alta dominancia. Con relación a su distribución por estratos, la mayoría de las especies parecen restringir su forrajeo a uno o algunos pocos de los estratos examinados; pero algunas de ellas fueron colectadas en todos.

Abstract

We studied the richness, diversity, abundance and distribution (on the basis of foraging strata) of ants on five coffee plantations with different shade structure as well as on a patch of cloud forest. Several methods of capture were used (traps, direct sampling, and mini-Winkler), depending on the sampled strata (subterranean, epigeal, litter, coffee plants, and arboreal vegetation). One hundred- six species belonging to 6 subfamilies and 37 genera of ants were collected. The structure of shade vegetation influenced ant richness, diversity, and abundance. In general, richness and diversity increased with greater complexity of the arboreal structure, whereas abundance decreased. Percentages of similarity (Jaccard) were relatively low, indicating a quite different composition mainly between forest and coffee plantations but also, to a lesser extent, from one coffee plantation to another. In forest, evenness was high, whereas on all coffee plantations, a high dominance prevailed. Most of the ant species seem to restrict their foraging behaviour to one or a few of the sampled strata, but some were present in all of them.

INTRODUCCIÓN

Las hormigas son uno de los grupos animales más abundantes en muchos de los ecosistemas terrestres (Hölldobler y Wilson 1990). A la fecha se han descrito aproximadamente 11,000 especies de estos insectos y se calcula que aún queda por describir otro tanto (Bolton 1994, 1995). Varios autores han considerado que las hormigas pueden ser buenos bioindicadores debido a su alta diversidad y abundancia, a la variedad de nichos que ocupan, a su rápida respuesta a cambios ambientales, a la facilidad de muestreo y a que su identificación es relativamente fácil en comparación con otros grupos de insectos (Alonso y Agosti 2000, Andersen 1990, Peck *et al.* 1998). También se les ha considerado útiles en la evaluación de respuestas bióticas frente a prácticas agrícolas como la fertilización, fumigación y quemas (Folgarait 1998).

Varios trabajos realizados en años recientes han mostrado que los cafetales con sombra favorecen de manera importante la conservación de la biodiversidad (Perfecto *et al.* 1996, Moguel y Toledo 1999, Perfecto y Armbréch 2003). Algunos estudios comparativos han demostrado que las plantaciones de café con sombra pueden contener una diversidad de artrópodos similar o incluso mayor que la de algunos bosques de altitudes medias en zonas tropicales (Stork y Brendell 1990, Torres 1984). Resultados similares se han encontrado en plantaciones de cacao que presentan una estructura parecida a la de los cafetales, pero que generalmente se ubican a menores altitudes que éstos (Perfecto *et al.* 1997).

En varias partes del estado de Veracruz, el cultivo del café presenta una superposición altitudinal y espacial con el bosque mesófilo de montaña. Este tipo de bosque ocupa menos del 1% de la superficie total del país, pero alberga una gran riqueza de especies tanto de plantas como animales y presenta una alta tasa de endemismos (Ramamoorthy *et al.* 1993).

Este trabajo representa un estudio comparativo de la mirmecofauna asociada con cafetales con diferente estructura de sombra y el Bosque Mesófilo de Montaña, mediante la evaluación de la riqueza, diversidad y abundancia de estos insectos, así como la similitud de hormigas asociadas con diferentes estratos de forrajeo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo de campo fue realizado en dos zonas cafetaleras del estado de Veracruz. La primera de ellas se localiza en la zona de Coatepec-Xico y la segunda en la zona de Huatusco-Totutla. Éstas se encuentran ubicadas en la región montañosa central del estado, sobre las estribaciones de la Sierra Madre Oriental. La región presenta un clima templado-húmedo con una oscilación de temperatura media anual entre 12 y 19 °C y la precipitación anual varía entre 1350 y 2200 mm. Los sitios de trabajo se encuentran a una altitud entre los 1000 y los 1350 msnm (Capítulo 2). El ecosistema dominante de la región es el bosque mesófilo de montaña, actualmente muy perturbado y confinado a algunos manchones en zonas de pendientes.

Muestreo

Los sitios de estudio seleccionados fueron: un fragmento de bosque mesófilo de montaña (identificado como CAÑ de ahora en adelante) y cinco fincas cafetaleras. Estos sitios fueron elegidos buscando tener representado un gradiente de complejidad estructural de la vegetación, donde los fragmentos de bosque presentan las estructuras más complejas y los monocultivos sin sombra las más simples. El grupo de cafetales seleccionados incluyó un cafetal sin sombra (SOL), un cafetal con sombra especializada dominada por solo dos especies de árboles (VSE), y tres cafetales con sombra diversa con diferente grado de complejidad estructural (ONZ, ORD y MIR).

Utilizando descriptores basados en la estructura biofísica de la vegetación arbórea, se estableció una ordenación de las fincas. La descripción detallada de cada uno de los sitios utilizados, así como de los criterios para establecer el gradiente de manejo se encuentran en los Capítulos 2 y 4. De acuerdo con el gradiente establecido las fincas se ordenaron de la siguiente manera, de menor a mayor complejidad estructural: SOL-VSE-ONZ-ORD-MIR.

En la metodología general del proyecto se seleccionaron 10 puntos de muestreo en cada uno de los sitios estudiados. En el caso de las hormigas, las colectas fueron realizadas en el área localizada dentro de un radio de 25 metros alrededor de cada uno de estos puntos. Los muestreos se realizaron por medio del uso de trampas, mini-Winkler y colecta

directa dependiendo de los estratos muestreados (subterráneo, epigeo, hojarasca, cafetos y vegetación de sombra). En cada punto se tomó el mismo número de muestras.

Estrato subterráneo. Se utilizaron frascos de plástico de 250 ml, en los cuales se colocó en su base central, otro frasco más pequeño (60 ml), que contenía atún como cebo. El primero de estos recipientes se llenó hasta la mitad de su capacidad con anticongelante comercial diluido al 50% y se le hicieron horadaciones de 3 mm a todo su alrededor, unos 2 cm por arriba del nivel del anticongelante. Una vez preparados y tapados, estos dispositivos fueron enterrados a una profundidad de 10 cm.

Estrato epigeo. Se utilizaron trampas de caída con recipientes de plástico de 500 ml, con anticongelante comercial diluido al 50%. Una vez colocadas al nivel de la superficie del suelo, las trampas fueron cubiertas con un plato de plástico para evitar la entrada de basura y agua en caso de lluvia, teniendo cuidado en dejar suficiente espacio entre la cubierta y la boca del recipiente para permitir el paso de las hormigas. Con el fin de obtener información sobre los gremios tróficos, en cada punto se colocaron dos trampas de este tipo, una cebada con atún y otra sin cebo.

Hojarasca. En cada punto se obtuvo una muestra de hojarasca del suelo (1 m²). Una vez colectada, la hojarasca fue tamizada en campo con un cernidor de 1 cm de apertura. Después de cernidas, las muestras fueron colocadas en bolsas de manta para su transportación y una vez en el laboratorio se colocaron en sacos mini-Winkler durante 48 horas, para la extracción de las hormigas (Bestelmeyer *et al.* 2000).

Cafetales. Para capturar las hormigas que forrajeaban sobre los cafetos, se empleó una manta de caída tipo “Bignell” de 80 cm por lado (Knudsen 1972). Tres plantas de café fueron muestreadas en cada punto. Con objeto de obtener información sobre las especies nectarívoras, adicionalmente se utilizaron trampas de miel colgadas en las plantas, las cuales consistieron en frascos de plástico de 100 ml de capacidad, en cuyo interior se colocaron 20 ml de miel de abeja. A estos frascos se les hicieron horadaciones a su alrededor, 2 cm por encima del nivel de la miel. En cada punto se colocó una trampa de este tipo.

Estrato arbóreo. Con la ayuda de pinceles y de un aspirador bucal, se colectaron las hormigas que se observaron forrajeando en la base de los troncos

de los árboles de sombra, hasta una altura de 2 m, aproximadamente. Este tipo de colecta fue realizado durante 15 minutos en los árboles localizados en las cercanías de cada punto.

Las trampas fueron recuperadas después de 48 horas de exposición en campo. En total se obtuvieron 70 muestras en cada sitio exceptuando CAÑ y SOL, en las cuales solo se obtuvieron 60 muestras debido a la ausencia de cafetos en el bosque, pero sí se colocaron trampas de miel en la vegetación arbustiva, mientras que en el caso de la finca SOL por la ausencia de árboles de sombra.

Trabajo de laboratorio

Las muestras de hormigas fueron preservadas en frascos viales con alcohol al 70% y posteriormente montadas en triángulos sobre alfileres entomológicos para su preservación e identificación. Los especímenes fueron determinados a nivel de género con ayuda de las claves de Mackay y Mackay (1989) y Bolton (1994). A nivel específico se utilizaron varias claves dependiendo de los grupos involucrados y en algunos casos se ratificó la identificación con material depositado en la colección IEXA. Los ejemplares de referencia de cada uno de los sitios estudiados quedaron depositados en la colección entomológica IEXA del Instituto de Ecología A.C. (Xalapa, Veracruz, México).

Análisis de datos

Para cada sitio se obtuvieron los siguientes parámetros: riqueza (total de especies colectadas); abundancia absoluta (total de hormigas obtenidas); abundancia relativa (frecuencia de captura de cada especie); diversidad, en función de las especies dominantes, calculada con el índice de Simpson (1-D) y el índice de equidad de Pielou (Magurran 2004). Para comparar la riqueza y diversidad entre ambientes se utilizó una prueba de aleatoriedad por “bootstrapping” (1000 muestras de pares al azar). La abundancia entre ambientes se comparó por medio de una prueba de χ^2 , contrastando las abundancias obtenidas en cada sitio con una abundancia promedio. La estructura de la comunidad de hormigas, con base en su abundancia relativa, se comparó mediante curvas de rango-abundancia (Magurran 2004). Todas las pruebas estadísticas, exceptuando las de χ^2 , fueron realizadas por medio del programa PAST (2007).

Con el fin de evaluar la eficiencia del muestreo, se utilizaron los estimadores no paramétricos ICE y Jackknife 2 (Colwell 2005), ambos basados en la incidencia, ya que por tratarse de insectos sociales que pueden presentar comportamientos de reclutamiento y de forrajeo en masa, es preferible la utilización de este tipo de estimadores (Rivera y Armbrrecht 2005). Estos estimadores fueron escogidos porque se sabe que pueden proporcionar aproximaciones más confiables sobre los niveles intermedios (ICE) y superiores (Jack 2) de la riqueza estimada en relación con la riqueza observada, que otros estimadores de este tipo (King y Porter 2005).

Con el programa PAST se calculó también la similitud entre todos los sitios y estratos estudiados, por medio del índice de Jaccard. A partir de estos resultados se obtuvo un dendrograma de similitud elaborado por medio de un análisis de agrupamiento por pares mediante el método de promedios no ponderados (UPGMA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición taxonómica

Al considerar todos los sitios muestreados se colectaron un total de 33,183 individuos pertenecientes a 6 subfamilias, 21 tribus, 37 géneros y 106 especies. La subfamilia mejor representada es Myrmicinae con 19 géneros y 58 especies, seguida por la subfamilia Formicinae con 5 géneros y 17 especies, Ponerinae con 4 géneros y 10 especies, Dolichoderinae con 4 géneros y 9 especies, Ecitoninae con 3 géneros y 5 especies y Pseudomyrmecinae con un solo género y 7 especies.

En cuanto al número de especies colectadas, el género *Pheidole* fue el más diverso con 12 especies seguido de *Camponotus* (9 spp.), *Solenopsis* (8 spp.), *Pseudomyrmex* (7 spp.), *Stenamma* (5 spp.), *Crematogaster* y *Strumigenys* (4 spp.), *Carebara*, *Forelius*, *Gnamptogenys*, *Hypoponera*, *Leptothorax*, *Monomorium*, *Paratrechina*, *Pyramica* y *Tapinoma* (3 spp.). Los géneros con dos especies fueron *Atta*, *Brachymyrmex*, *Cyphomyrmex*, *Labidus*, *Myrmelachista*, *Neivamyrmex*, *Odontomachus* y *Pachycondyla*. Los 13 géneros restantes están representados por una sola especie.

Eficiencia del muestreo

En ninguno de los casos las curvas de acumulación de especies obtenidas alcanzaron la asíntota. Los resultados muestran que la eficiencia del muestreo no

varió mucho entre los diferentes sitios, con un rango de 55.7% (CAÑ) a 66.7% (ORD) según el estimador ICE y de 53.2% (SOL) a 57.8% (ORD) con Jackknife 2. Estos datos indican que, en promedio faltó por colectar entre un 40 y un 45% de las especies.

Riqueza, diversidad y abundancia por sitio

En el Apéndice 8.1 se muestra la distribución y las abundancias relativas de las especies encontradas en los seis sitios estudiados y en la Figura 8.1 se representan: la riqueza, expresada como número de especies; la diversidad calculada con el índice de Simpson (1-D); y la abundancia (número de individuos capturados).

El sitio con mayor riqueza fue MIR (56 spp.), mientras que el sitio VSE (31 spp.) registró el menor número de especies. Mediante la prueba de aleatoriedad, solo se encontraron diferencias significativas en las comparaciones efectuadas entre MIR (cafetal con mayor complejidad en la estructura arbórea), respecto a cada uno de los otros sitios estudiados incluyendo al bosque (Cuadro 8.1). A pesar de que no se encontraron diferencias significativas al comparar las demás fincas cafetaleras, en general, se aprecia cierta tendencia hacia el incremento de la riqueza conforme se incrementa la complejidad de la vegetación arbórea (Figura 8.1).

Por lo que respecta a la diversidad, se aprecia también un incremento en este mismo sentido, con excepción de la finca ORD, en donde se observó un decremento importante con relación a fincas con menor complejidad de estructura arbórea (SOL, VSE y ONZ). Se encontraron diferencias significativas entre el bosque (CAÑ) y todos los cafetales excepto MIR y entre este último sitio y el resto de las fincas cafetaleras (Cuadro 1). En el sitio de bosque se obtuvo la diversidad más alta (0.95) y en ORD la más baja (0.88).

La abundancia presentó una tendencia en un sentido opuesto a la observada para la riqueza y la diversidad, con una disminución de individuos en función del incremento de la complejidad de la estructura de la vegetación arbórea.

Las diferencias en la abundancia del bosque (761 individuos) respecto a las fincas cafetaleras son evidentes. Una comparación efectuada únicamente entre las fincas cafetaleras mostró diferencias significativas entre ellas ($\chi^2 = 105$; $p < 0.001$; $gl = 4$). La finca con mayor abundancia fue SOL, la única carente de vegetación arbórea, en la cual se colectaron 8758 individuos, 7923 de ellas pertenecientes a la especie, *S. geminata*. En MIR,

Cuadro 8.1. Valores de p calculados por medio de una prueba de aleatoriedad por Bootstrapping en comparaciones por pares de la riqueza (parte superior derecha) y diversidad (parte inferior izquierda), calculada por medio del índice de Simpson (1-D), entre los seis sitios estudiados. Se resaltan en negrillas aquellas comparaciones en que se obtuvieron diferencias significativas. SOL: cafetal sin sombra; VSE: cafetal con sombra especializada; ONZ, ORD y MIR: cafetales con sombra diversa, en grado creciente de complejidad de la estructura arbórea y CAÑ: bosque mesófilo de montaña.

	SOL	VSE	ONZ	ORD	MIR	CAÑ
SOL		0.775	0.061	0.389	0.001	0.728
VSE	0.676		0.113	0.432	0.001	0.129
ONZ	0.405	0.748		0.236	0.027	0.962
ORD	0.550	0.398	0.173		0.001	0.983
MIR	0.004	0.028	0.042	0.001		0.001
CAÑ	0.001	0.004	0.028	0.003	0.696	

el cafetal con mayor diversidad y complejidad en la estructura arbórea, se obtuvieron 5013 individuos. El resto de las fincas presentó una captura intermedia en relación con las dos anteriores y con un rango de variación muy estrecho (6054 a 6328 individuos).

Los resultados obtenidos mostraron que la estructura de la vegetación de sombra en los cafetales influye sobre la riqueza, diversidad y abundancia de las hormigas presentes en ellos. Estos resultados concuerdan con varios estudios que han mostrado que existe una tendencia al aumento en la riqueza de hormigas, conforme se incrementa la complejidad estructural de estos agroecosistemas (Perfecto y Snelling 1995, Perfecto y Vandermeer 1994, 1996 y 2002, Nestel y Dickschen 1990).

El bosque (CAÑ) posee una riqueza equivalente a la de algunos de los cafetales comprendidos en este gradiente, pero inferior en una proporción importante a la riqueza de la finca MIR. Por otra parte, CAÑ es también el sitio con la diversidad más alta, debido probablemente, a la alta equitatividad que presenta en comparación con los cafetales. Una fracción importante de las especies del bosque no se encontraron en los agroecosistemas cafetaleros, incluso en aquellos con menor intensidad de manejo y mayor complejidad en la estructura vegetal.

Con respecto a la abundancia, esta disminuye conforme se incrementa la complejidad de la estructura de la vegetación de sombra. El incremento en el número de individuos no se relaciona con una mayor riqueza, sino con una alta dominancia de *S. geminata*, especie generalista y oportunista muy abundante en áreas abiertas (e.g., pastizales) de la región, y es la especie dominante en todos los cafetales estudiados. Cuando

llega a ser muy abundante, se puede convertir en una plaga importante, por las molestias que causa a los trabajadores de las fincas durante las faenas agrícolas.

Similitud entre sitios

Los datos obtenidos con el índice de Jaccard reflejan en general poca similitud entre los sitios estudiados (Cuadro 8.2). El promedio general de similitud es de 27.6%, con un rango de 38.1% entre MIR y VSE, a 14.3% entre CAÑ y SOL.

El promedio de similitud entre el bosque (CAÑ) y los cafetales en su conjunto fue de 18.9%, con 21 especies compartidas, o sea, el 53.8% del total de especies encontradas en el bosque. La mayor similitud del bosque con alguno de los cafetales fue con MIR (21.8%). El promedio de similitud entre los cafetales fue de 31.9% con el porcentaje más bajo entre VSE y ORD (24.1%) y el más alto entre MIR y VSE (38.1%).

El dendrograma obtenido con el análisis de agrupamiento basado en los índices de similitud de Jaccard (Figura 8.2), indicó que en el nivel más bajo de similitud (20% aprox.) se forman dos ramas, una constituida solo por el bosque y la otra por los cinco cafetales. En este último grupo, a un mayor grado de similitud se forman dos subgrupos; el primero comprende a MIR y VSE, ambos ubicados en la región de Huatusco-Totutla, y el segundo subgrupo incluye las fincas SOL, ONZ y ORD, ubicados en la zona de Coatepec-Teocelo. En este último caso, la finca SOL se separa a un nivel ligeramente menor de las otras dos fincas, que representan los sitios con la mayor similitud en este subgrupo (36.8%).

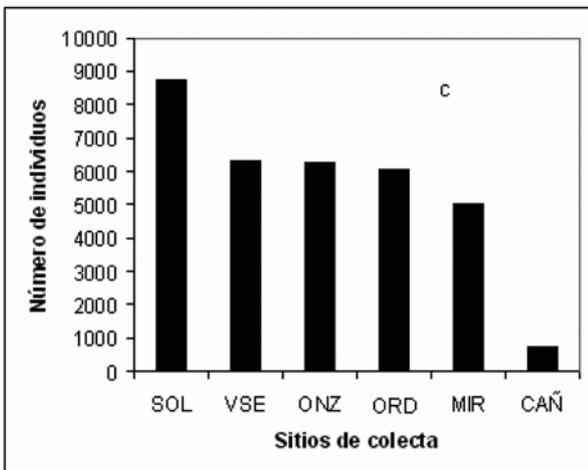
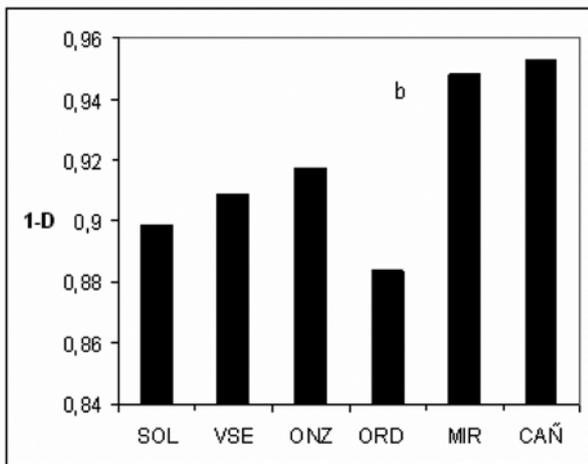
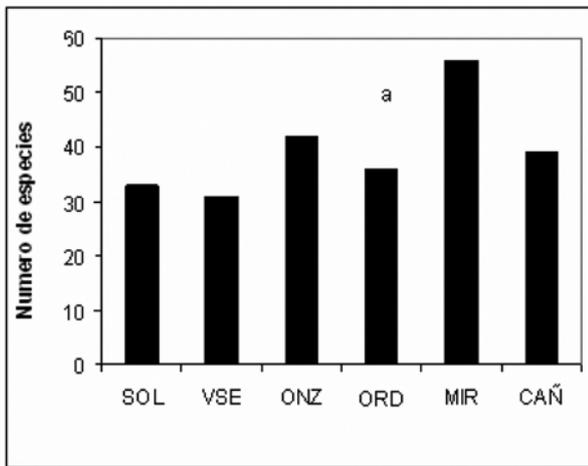


Figura 8.1. a) Riqueza específica; b) diversidad (índice de Simpson en su forma 1-D); y c) abundancia, por sitio de muestreo. SOL: cafetal sin sombra; VSE: cafetal con sombra especializada; ONZ, ORD y MIR: cafetales con sombra diversa en grado creciente de complejidad de la estructura arbórea y CAÑ: bosque mesófilo de montaña.

Cuadro 8.2. Porcentajes de similitud obtenidos por medio del índice de Jaccard (parte superior derecha) y número de especies compartidas (parte inferior izquierda), en comparaciones efectuadas entre los sitios estudiados. SOL: cafetal sin sombra; VSE: cafetal con sombra especializada; ONZ, ORD y MIR: cafetales con sombra diversa en grado creciente de complejidad de la estructura arbórea y CAÑ: bosque mesófilo de montaña.

	SOL	VSE	ONZ	ORD	MIR	CAÑ
SOL		30.6	33.9	32.7	30.9	14.3
VSE	15		25.9	24.1	38.1	18.6
ONZ	19	14		36.8	34.2	19.1
ORD	17	13	20		31.4	21
MIR	20	23	25	22		21.8
CAÑ	9	10	11	12	16	

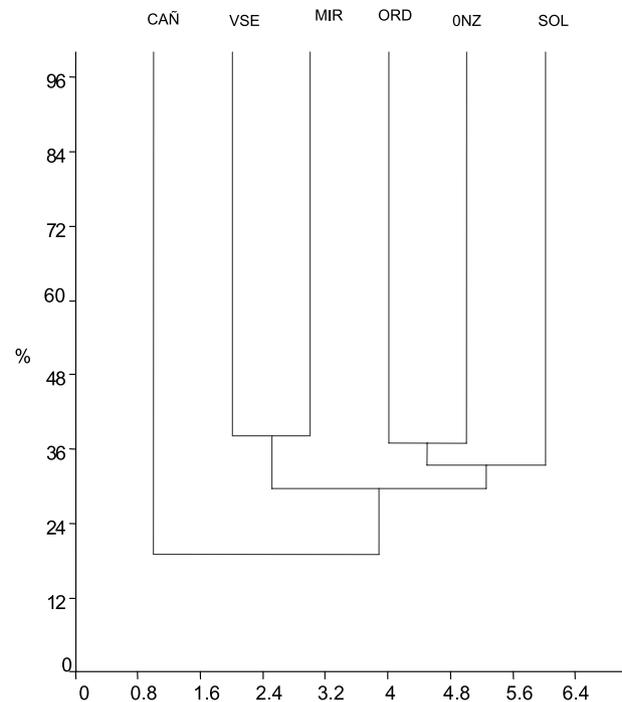


Figura 8.2. Dendrograma de similitud obtenido por medio del índice de Jaccard para los seis sitios estudiados SOL: cafetal sin sombra; VSE: cafetal con sombra especializada; ONZ, ORD y MIR: cafetales con sombra diversa en grado creciente de complejidad de la estructura arbórea y CAÑ: bosque mesófilo de montaña.

El bosque destaca como una comunidad muy diferente de los cafetales ya que existen muy pocas especies compartidas entre sí, y algunas de ellas poseen una amplia distribución por lo que llegan a penetrar en el bosque de manera marginal, como por ejemplo: *B. musculus*, *P. stenheili* y *S. geminata*.

La mayoría de las especies encontradas parecen tener una distribución restringida, debido a que el 44.8% de todas las especies se colectaron en uno solo de los sitios, el 18.1% de especies en dos sitios, el 20.9% de especies se observaron en tres sitios. En cambio, solo el 6.7% de especies se registraron en cuatro sitios, el 4.8% en cinco sitios, mientras que solo cinco especies (4.7%) fueron observadas en todos los sitios.

En general, los resultados obtenidos muestran una composición de especies muy diferente entre el bosque y los cafetales y, en menor grado, también entre los cafetales estudiados. Estas variaciones no parecen depender únicamente del tipo de sombra en las fincas. Otros factores, como la ubicación geográfica y la estructura del paisaje, podrían afectar también la composición faunística de las fincas. Algunas que colindan con cultivos de caña de azúcar (por ejemplo ORD), en general son menos diversas que otras con menor complejidad en la estructura de la vegetación arbórea y una mayor intensidad de manejo, pero que colindan con áreas de vegetación más conservadas (como ONZ). Por otra parte, el análisis de agrupamiento mostró que las fincas que más se asemejan son las que se encuentran más cercanas a pesar de tener, en ocasiones, manejos muy contrastantes, como en el caso de VSE (un monocultivo con sombra especializada) y MIR (un cultivo orgánico con sombra diversificada).

Patrones de abundancia

Las curvas de rango-abundancia obtenidas mostraron algunas similitudes respecto a la estructura de la comunidad de hormigas en todos los sitios: una o pocas especies resultaron dominantes y/o co-dominantes, pocas especies de abundancia media y una alta proporción de especies poco abundantes y raras (Figura 8.3). A pesar de lo anterior, se observaron también diferencias importantes a este respecto, principalmente entre el bosque y los cafetales.

Visualmente se puede apreciar una mayor equidad en la mirmecofauna del bosque, mientras que en todas las fincas cafetaleras es evidente la dominancia, en mayor o menor grado, de una sola especie. El índice

de equidad varió entre 0.79 (ORD) y 0.92 (CAÑ). En el caso de las fincas cafetaleras, la mayor equidad se obtuvo en MIR (0.87). Se encontraron diferencias significativas con una prueba de aleatoriedad, entre el bosque (CAÑ) y cada uno de los cafetales ($p < 0.006$ en todos los casos) excepto MIR ($p = 0.095$) y, de este cafetal, con SOL ($p = 0.034$) y con ORD ($p = 0.015$).

En el bosque, *Adelomyrmex tristansi* resultó la especie más abundante con una frecuencia de captura de 16.7%. En los cafetales, *S. geminata* fue la especie más abundante en todos los sitios y la única que mantuvo la misma posición jerárquica en todos ellos, con una abundancia muy superior a las especies que le siguen en importancia. Esta especie representó el 53.3% (SOL), el 34.3% (VSE), el 50% (ONZ), el 61.4% (ORD) y el 41.4% (MIR) de las capturas totales en cada cafetal.

Con el fin analizar con más detalle el recambio de las especies entre los sitios de muestreo, se efectuó la siguiente comparación. De cada uno de ellos se seleccionaron las cinco especies más abundantes, sin considerar a *S. geminata*, y se comparó su ocurrencia entre los sitios.

P. steinheili fue la única especie que coincidió en esta categoría tanto en el bosque como en varias de las fincas cafetaleras. Ninguna otra especie se encontró entre el grupo de las abundantes en ambos tipos de ambientes. En el caso de los cafetales, *Solenopsis* sp1 fue una de las hormigas más abundantes en tres cafetales y otras tres, *B. musculus*, *H. opacior* y *Ph. protensa*, en dos. El resto de las especies tuvieron esta categoría solo en una de las fincas cafetaleras. Estos resultados muestran que aún en el caso de las especies abundantes, el recambio es alto entre los sitios estudiados.

Estratos de forrajeo

Con relación a la distribución de las especies por estratos, la hojarasca presentó la mayor riqueza con 50 especies (47.6% del total), seguida de las capturas en los cafetos con 46 especies (43.8%), la vegetación arbórea con 45 especies (42.9%), el estrato epigeo con 43 especies (40.6%) y el hipogeo con 19 especies (18.1%). El estrato con mayor abundancia fue el hipogeo con 15,662 hormigas colectadas (47.2% del total), seguido por el estrato epigeo con 8362 (25.2%), el arbóreo con 4247 (12.8%), los cafetos 3650 (11%) y la hojarasca con 1294 (3.9%) (Figura 8.4). En las fincas de café, en todos los estratos (excepto el arbóreo) la mayor riqueza

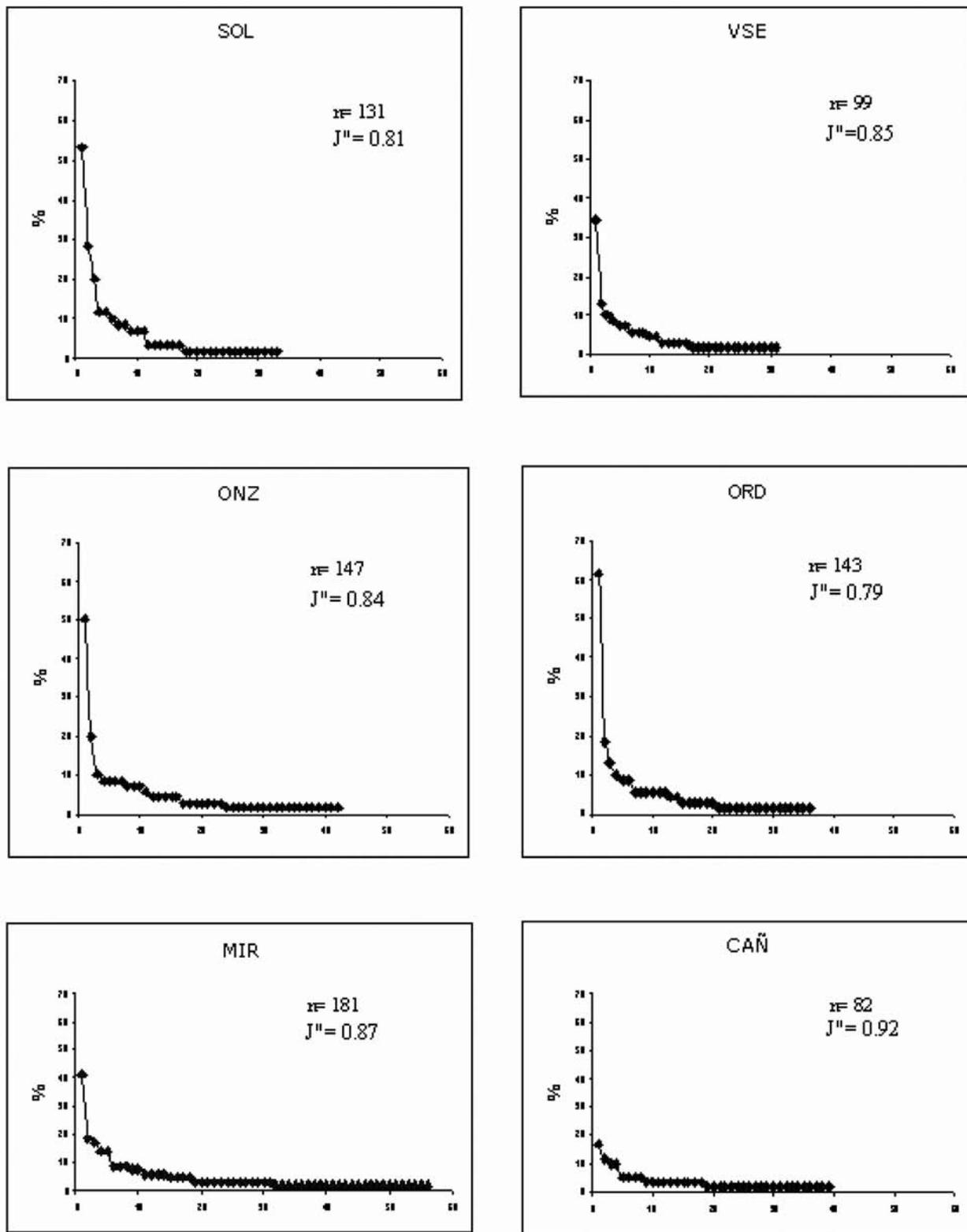


Figura 8.3. Gráficas de rango-abundancia para cada uno de los sitios estudiados. La abundancia se expresa en porcentaje con base a la frecuencia de captura de cada especie. SOL: cafetal sin sombra; VSE: cafetal con sombra especializada; ONZ, ORD y MIR: cafetales con sombra diversa en grado creciente de complejidad de la estructura arbórea y CAÑ: bosque mesófilo de montaña. N = total de capturas por sitio; J' = índice de equidad de Pielou.

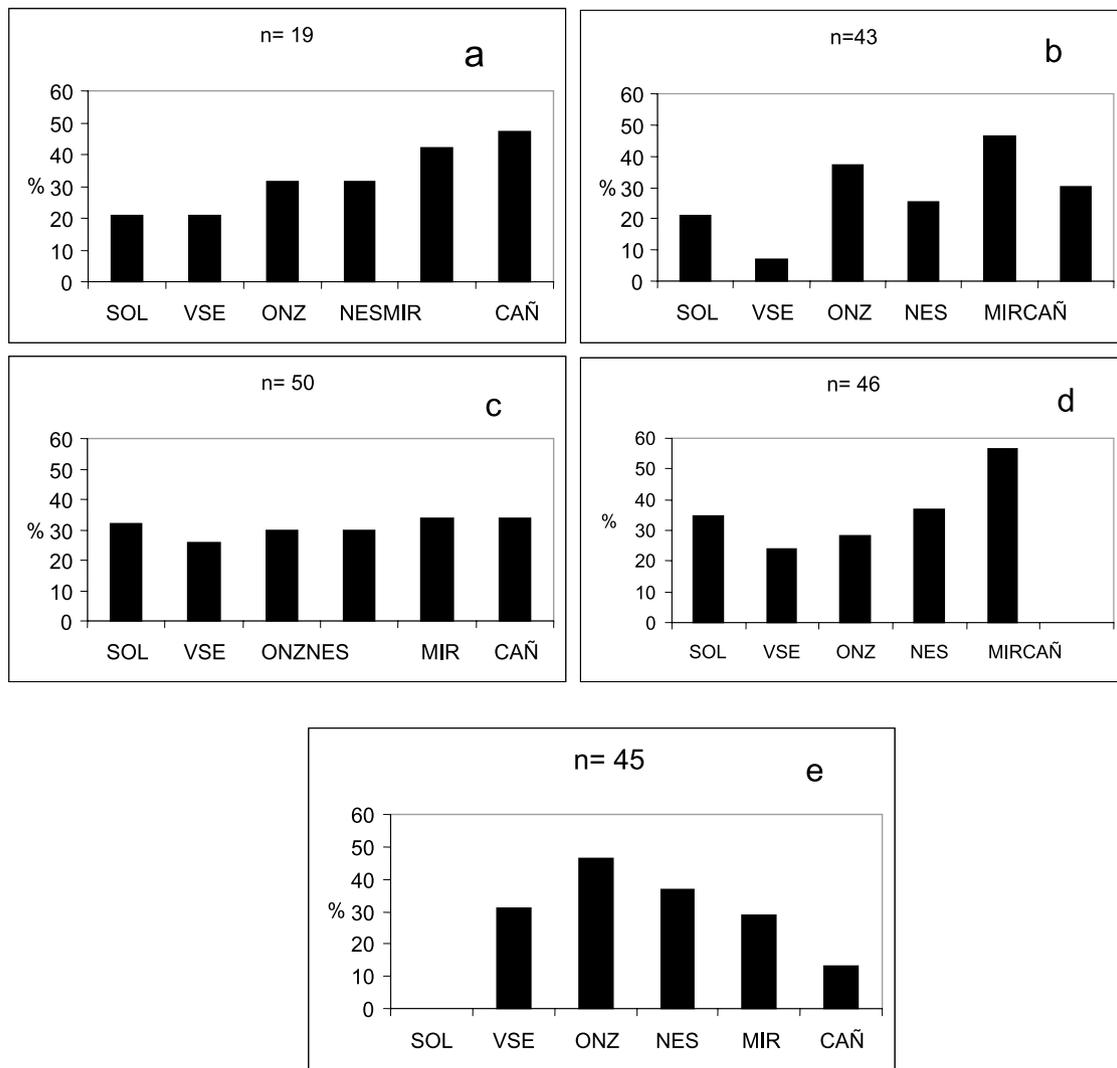


Figura 8.4. Proporción de especies colectadas por estrato en cada sitio de muestreo con relación al total de especies capturadas por estrato: a) hipogeo; b) epigeo; c) hojarasca; d) cafetos y e) arbóreo. SOL: cafetal sin sombra; VSE: cafetal con sombra especializada; ONZ, ORD y MIR: cafetales con sombra diversa en grado creciente de complejidad de la estructura arbórea y CAÑ: bosque mesófilo de montaña.

se tuvo en MIR, pero en el estrato arbóreo, la mayor riqueza se encontró en ONZ. En el caso del bosque (CAÑ), la mayor riqueza de especies se presentó en el estrato hipogeo, valores promedio en el epigeo y la hojarasca y el más bajo en el arbóreo.

En general, los estratos hipogeo y epigeo mostraron una tendencia hacia el incremento en la riqueza de especies, conforme se incrementa la complejidad de la estructura arbórea. En los cafetos se observó una tendencia similar entre VSE, ONZ, ORD y MIR, pero los datos obtenidos en SOL no concuerdan con dicha tendencia. Estos resultados podrían explicarse

tal vez por el hecho de que, a pesar de ser una finca sin árboles de sombra, SOL fue uno de los sitios con mayor densidad de vegetación herbácea debido a que solo se practican deshierbes en esta finca en la época de cosecha. Como consecuencia de ello, a pesar de la ausencia de un estrato arbóreo, existe una gran cantidad de recursos disponibles para los grupos de hormigas que aprovechan la vegetación herbáceo-arbustiva para su anidación y forrajeo. La hojarasca resultó el estrato más estable, con variaciones muy pequeñas entre los sitios con diferente manejo. En el estrato arbóreo se observaron las variaciones más importantes entre las

fincas, pero no se aprecia ninguna tendencia que relacione estas variaciones con el tipo de sombra.

La distribución, en el caso de la mayoría de las especies parece estar restringida a uno o unos pocos de los estratos muestreados. Así, el 50.5% de las especies se colectó en un solo estrato, el 23.8% en dos, el 11.4% en tres, el 7.6% en cuatro y solo seis especies, *B. musculus*, *P. steinheili*, *P. protensa*, *Pheidole* sp1, *S. geminata* y *Solenopsis* sp1, fueron encontradas en los cinco estratos. El estrato con mayor proporción de especies exclusivas, con relación al total de especies por estrato, fue la hojarasca (38.8%), seguido por el hipogeo (26.3%), los cafetales (23.9%), la vegetación arbórea (22.2%) y el estrato epigeo (18.6%).

Los porcentajes de similitud obtenidos entre los estratos en general fueron bajos (Cuadro 3), con un promedio de 26.1% y un rango de 12% (entre los estratos hipogeo y arbóreo) a 42% (entre los cafetos y el estrato arbóreo). Estos resultados muestran que las mirmecofaunas asociadas a cada uno de estos estratos son bastante diferentes (Cuadro 8.3).

En el dendrograma obtenido con el análisis de agrupamiento de los estratos por medio del índice de similitud de Jaccard (Figura 8.5) se observó que en el nivel más bajo de similitud se separan dos ramas. En una de ellas, se encuentra únicamente el estrato hipogeo y en la otra los cuatro estratos restantes. Estos últimos forman a su vez dos subgrupos, uno de ellos constituido por el estrato epigeo y la hojarasca (35% de similitud) y el otro formado por los cafetos y la vegetación arbórea que son los dos estratos con mayor similitud (42%).

Es un poco sorprendente que MIR y CAÑ, los dos sitios con mayor complejidad de la estructura arbórea,

resultaran los más pobres en especies arborícolas. Estos resultados podrían deberse al método de muestreo utilizada para este estrato, pues únicamente se colectó en la base de los troncos de la vegetación arbórea. Una fracción importante de la mirmecofauna arborícola se encuentra principalmente en el dosel por lo que nuestro muestreo podría estar subestimando la riqueza de la mirmecofauna de este estrato, sobre todo en estos dos sitios que son los más ricos en vegetación arbórea y los que poseen el dosel más alto.

RECOMENDACIONES

- Los resultados obtenidos muestran que la región alberga una alta riqueza de estos insectos y que los cafetales contribuyen de manera muy importante al mantenimiento de esta riqueza. De acuerdo con la información proporcionada por Rojas (1996) sobre las hormigas de México, la riqueza encontrada en la zona de trabajo equivale a cerca del 65% de la mirmecofauna registrada para todo el estado de Veracruz y del 20% de la del país. Además, los estimadores utilizados predicen que se podría llegar a coleccionar alrededor de un 40% más de especies.
- En función de la importancia de los cafetales en la conservación de la biodiversidad y en la prestación de algunos servicios ambientales (véase el conjunto de resultados presentados por los autores de los diferentes capítulos de este libro), es muy recomendable la implementación de medidas que favorezcan y estimulen la conservación de estos agroecosistemas en la región y limiten su transformación en otro tipo de sistemas menos adecuados para las condiciones imperantes en la región y más “agresivos” ambientalmente hablando, como pastizales, cañales y otro tipo de monocultivos anuales.
- La utilización de un manejo más “amigable” desde el punto de vista ambiental, manteniendo cierta diversidad vegetal, una adecuada cobertura arbórea y una baja intensidad en el uso de agroquímicos principalmente de insecticidas, puede favorecer la presencia en las fincas cafetaleras de insectos y otros artrópodos depredadores, entre los que se encuentran las hormigas, y de avispas y dípteros parasitoides que ejercen en su conjunto un control natural importante sobre los insectos

Cuadro 8.3. Porcentajes de similitud obtenidos por medio del índice de Jaccard (parte superior derecha) y número de especies compartidas (parte inferior izquierda), en comparaciones efectuadas entre los estratos muestreados. HIP: hipogeo; EPI: epigeo; HOJ: hojarasca; CAF: cafetos y ARB: arbóreo.

	HIP	EPI	HOJ	CAF	ARB
HIP		27	21	16	12
EPI	13		35	35	28
HOJ	11	24		23	22
CAF	8	23	18		42
ARB	7	20	17	27	

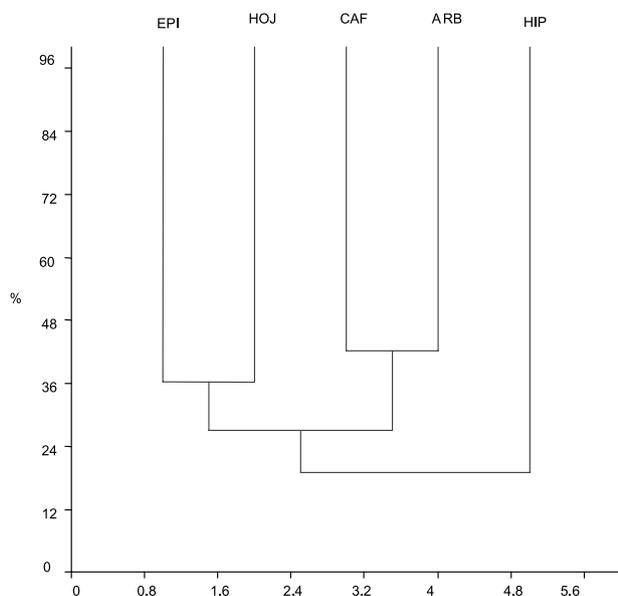


Figura 8.5. Dendrograma de similitud obtenido con los valores del índice de Jaccard para los cinco estratos muestreados: HIP: hipogeo; EPI: epigeo; HOJ: hojarasca; CAF: cafetos; ARB: arbóreo.

fitófagos, algunos de los cuales pueden ser plagas potenciales del café o de la vegetación acompañante (Ibarra-Núñez 1990). A este respecto es importante mencionar que se ha informado que el nivel de sombra en un cafetal puede mantenerse hasta en un 60% sin reducir su productividad (Rice y Drenning 2003).

- La complejidad ambiental y estructural en los cafetales de sombra, que en algunos aspectos se asemeja a la del bosque original, favorece la preservación de algunas especies de hormigas del bosque. Sin embargo, una fracción importante de estas especies parecen estar restringidas a estos ambientes. Por este motivo, es importante también promover la conservación de las áreas que aún conservan manchones de bosque mesófilo en la región.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte del proyecto “BIOCAFÉ: Un estudio interdisciplinario de la conservación de la biodiversidad y servicios ambientales del bosque mesófilo de montaña en un gradiente de manejo de cafetales en el centro de Veracruz” (SEMARNAT-

2003-C01-0194). A los propietarios de los sitios de colecta: Ricardo Romero (Las Cañadas), Jorge A. Muller Grohmann (El Mirador), Ricardo García Camacho (La Onza), Raul Monge Villalobos (Orduña), Sergio y Francisco de la Vequia Bernardi (La Vequia) y Dionisio Pérez J. (Buena Vista). Al Dr. Vicente Hernández Ortiz y a un revisor anónimo por sus acertadas sugerencias y correcciones a una versión preliminar del manuscrito.

REFERENCIAS

- Alonso LE, Agosti D. 2000. Biodiversity studies, monitoring of ants: An Overview. En: Agosti D, Majer JD, Alonso LE, Schultz TR, editors. *Ants: Standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press, Washington p. 1-8.
- Andersen AN. 1990. The use of ant communities to evaluate change in Australian terrestrial ecosystem: A review and recipe. *Proceedings of the ecological Society of Australia* 16:347-357.
- Bestelmeyer BT, Agosti D, Alonso L, Brandao CR, Brown WL Jr, Delabie JHC, Silvestre R. 2000. Field techniques for the study of ground-dwelling ants: An overview, description and evaluation. En: Agosti D, Majer J, Alonso LE, Schultz T, editor. Smithsonian Institution Press, Washington DC, p. 122-144.
- Bolton B. 1994. Identification guide to the ant genera of the world. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts. 222 p.
- Bolton B. 1995. *A new general catalogue of the ants of the World*. Harvard University Press, Cambridge. 504 p.
- Colwell RK. 2005. Estimates: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 7.5 Persistent URL < <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>>.
- Folgarait PJ. 1998. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity and Conservation* 7:1221-1244.
- Hölldobler B, Wilson O. 1990. *The Ants*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts. 732 p.
- Ibarra-Núñez G. 1990. Los artrópodos asociados a cafetos en un cafetal mixto del Soconusco, Chiapas, México. I Variedad y abundancia. *Folia Entomológica Mexicana* 79:207-231
- King JR, Porter SD. 2005. Evaluation of sampling methods and species richness estimators for ants in Upland Ecosystems in Florida. *Environmental Entomology* 34(6):1566-1578.
- Knudsen JW. 1972. Collecting and preserving plants and animals. Harper and Row, New York. *Insects*, p. 128-176.

- Mackay W, Mackay E. 1989. Clave de los géneros de hormigas en México (Hymenoptera: Formicidae). En: Sociedad Mexicana de Entomología. Editor. II Simposio Nacional de Insectos Sociales. Oaxtepec, Morelos, México. p. 1-82.
- Magurran AE. 2004. *Measuring biological diversity*. Londres: Blackwell Publishing. 256 p.
- Moguel O, Toledo VM. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13:11-21.
- Nestel D, Dickschen F. 1990. The foraging kinetics of ground ant communities in different Mexican coffee agroecosystems. *Oecologia* 84:58-63.
- PAST. 2007. *Palaeontological Statistics*, ver.1.62. <<http://folk.uio.no/ohammer/past/>>.
- Peck SI, Mcquaid B, Campbell CL. 1998. Using ant species as a biological indicator of Agroecosystem condition. *Environmental Entomology* 27(5):1102-1110.
- Perfecto I, Vandermeer J. 1994. Understanding biodiversity loss in agroecosystems; reduction of ant diversity resulting from transformation of the coffee ecosystems in Costa Rica. *Entomology* 2:7-13
- Perfecto I, Snelling R. 1995. Biodiversity and tropical ecosystem transformation: ant diversity in the coffee agroecosystem in Costa Rica. *Ecological Applications* 5:1084-1097
- Perfecto I, Vandermeer J. 1996. Microclimatic changes and the indirect loss of ant diversity in a tropical agroecosystems. *Oecologia* 108:577-582.
- Perfecto I, Vandermeer J. 2002. The quality of the agroecological matrix in a tropical montane landscape: ants in coffee plantations in southern Mexico. *Conservation Biology* 16:174-182.
- Perfecto I, Armbrrecht I. 2003. The coffee agroecosystem in the neotropics: Combining ecological and economic goals. En: Vandermeer J. editor. *Tropical Agroecosystems*. Advances in Agroecology Series, CRC Press, NY. p. 159-194.
- Perfecto I, Rice R, Greenberg R, Van der Voort M. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46(8):598-608.
- Perfecto I, Vandermeer J, Hanson P, Cartin V. 1997. Arthropod Biodiversity loss and the transformation of a tropical agroecosystem. *Biodiversity and Conservation* 6:935-945.
- Ramamoorthy T, Bye R, Lot A, Fa J. 1993. *Biological diversity of Mexico*. Oxford University Press, New York. p. 812.
- Rice A, Drenning J. 2003. *Manual de café bajo sombra*. Smithsonian Migratory Bird center (bird friendly). National Zoological Park. Washington, DC. www.si.edu/smbc. 62 p.
- Rivera L, Armbrrecht I. 2005. Diversidad de tres gremios de hormigas en cafetales de sombra, de sol y bosques de Risaralda. *Revista Colombiana de Entomología* 31(1):89-96.
- Rojas-Fernández P, 1996. Formicidae (Hymenoptera). En: J. Llorente Bousquets, AN García-Aldrete & E González-Soriano, editores. *Biodiversidad taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento*. UNAM: México. p. 483-500.
- Stork NE, Brendell MJD. 1990. Variation in the insect fauna of Salawesi trees with season, altitude and forest type. En: Knight WJ, Holloway JD, editors. *Insects and the rain forest of south East Asia (Wallacea)*. London (UK): The Royal Entomological Society of London. p. 173-194.
- Torres JA. 1984. Diversity and distribution of ant communities in Puerto Rico. *Biotropica* 16:296-303.

APÉNDICE 8.1. DISTRIBUCIÓN Y FRECUENCIA DE CAPTURA DE LAS ESPECIES COLECTADAS EN LOS SEIS SITIOS DE ESTUDIO. SOL: MONOCULTIVO SIN SOMBRA (N = 60 MUESTRAS); VSE: MONOCULTIVO CON SOMBRA ESPECIALIZADA (N = 70); ONZ: CAFETAL CON SOMBRA DIVERSA (N = 70); ORD: CAFETAL CON SOMBRA DIVERSA (N = 70); MIR: CAFETAL CON SOMBRA DIVERSA (N = 70) Y CAÑ: BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA (N = 60).

Especies y morfoespecies	SOL	VSE	ONZ	ORD	MIR	CAÑ
<i>Acropyga</i> sp	0	0	0	1	0	0
<i>Acromyrmex octospinosus</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Adelomyrmex silvestre</i>	4	2	0	0	1	0
<i>Adelomyrmex tristani</i>	0	0	0	0	0	10
<i>Apterostigma pilosum</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Atta cephalotes</i>	0	2	0	0	5	0
<i>Atta mexicana</i>	2	0	0	0	0	0
<i>Azteca</i> sp 1	1	0	2	0	2	0
<i>Brachymyrmex depilis</i>	2	6	6	3	2	3
<i>Brachymyrmex musculus</i>	17	9	0	0	0	0
<i>Camponotus atriceps</i>	1	0	1	1	0	2
<i>Camponotus</i> cf <i>cerberulus</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Camponotus claviscapus</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Camponotus novogranadensis</i>	0	0	5	0	1	0
<i>Camponotus rectithorax</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Camponotus ulcerosus</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Camponotus</i> sp 1	2	0	0	0	6	0
<i>Carebara urichi</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Carebara</i> sp 1	1	0	5	4	2	1
<i>Carebara</i> sp 2	0	1	0	0	1	2
<i>Cephalotes scutulatus</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Crematogaster</i> cf <i>acuta</i>	0	1	1	0	10	0
<i>Crematogaster</i> cf <i>stollii</i>	1	0	14	2	0	0
<i>Crematogaster</i> cf <i>sumichrasti</i>	0	4	2	2	0	0
<i>Crematogaster</i> sp1	1	2	1	0	1	3
<i>Cyphomyrmex minutus</i>	2	0	1	0	1	0
<i>Cyphomyrmex rimosus</i>	6	1	0	0	4	0
<i>Dorymyrmex bicolor</i>	7	1	0	0	1	0
<i>Eciton burchellii</i>	0	0	3	0	1	1
<i>Forelius</i> sp 1	2	1	3	0	0	0
<i>Forelius</i> sp 2	5	0	2	0	2	0
<i>Forelius</i> sp 3	0	1	0	0	2	0
<i>Gnamptogenys bisulca</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Gnamptogenys hartmani</i>	0	0	0	0	2	0
<i>Gnamptogenys strigata</i>	5	2	0	0	3	0
<i>Hypoponera nitidula</i>	0	5	0	0	0	0
<i>Hypoponera opacior</i>	12	3	1	6	2	0
<i>Hypoponera parva</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Labidus coecus</i>	0	0	0	1	1	4
<i>Labidus praedator</i>	0	0	1	4	2	3
<i>Leptothorax striatulus</i>	0	0	0	0	0	2
<i>Leptothorax</i> sp 1	0	0	0	0	1	0
<i>Leptothorax</i> sp 2	0	0	0	0	0	1
<i>Linepithema humile</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Monomorium</i> sp 1	0	7	0	4	1	0
<i>Monomorium</i> sp 2	0	0	1	0	0	0

APÉNDICE 8.1. DISTRIBUCIÓN Y FRECUENCIA DE CAPTURA DE LAS ESPECIES COLECTADAS EN LOS SEIS SITIOS DE ESTUDIO. SOL: MONOCULTIVO SIN SOMBRA (*N* = 60 MUESTRAS); VSE: MONOCULTIVO CON SOMBRA ESPECIALIZADA (*N* = 70); ONZ: CAFETAL CON SOMBRA DIVERSA (*N* = 70); ORD: CAFETAL CON SOMBRA DIVERSA (*N* = 70); MIR: CAFETAL CON SOMBRA DIVERSA (*N* = 70) Y CAÑ: BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA (*N* = 60). (CONTINUACIÓN)

Especies y morfoespecies	SOL	VSE	ONZ	ORD	MIR	CAÑ
<i>Monomorium</i> sp 3	0	2	1	0	0	0
<i>Myrmelachista</i> sp 1	0	0	0	0	1	0
<i>Myrmelachista</i> sp 2	0	0	0	0	0	1
<i>Neivamyrmex rugulosus</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Neivamyrmex sumichrasti</i>	0	0	0	0	0	2
<i>Octostruma</i> sp	0	1	1	0	1	0
<i>Odontomachus brunneus</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Odontomachus laticeps</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Pachycondyla ferruginea</i>	1	0	4	1	0	0
<i>Pachycondyla harpax</i>	0	1	0	0	6	0
<i>Paratrechina austroccidua</i>	0	1	3	4	3	1
<i>Paratrechina steinheili</i>	7	4	7	6	13	7
<i>Paratrechina</i> sp 2	0	0	0	0	0	1
<i>Pheidole nubicola</i>	0	0	1	0	0	2
<i>Pheidole protensa</i>	1	3	6	2	12	2
<i>Pheidole punctatissima</i>	0	5	0	0	4	2
<i>Pheidole titanis</i>	1	0	0	1	3	0
<i>Pheidole</i> sp 1	0	4	0	1	2	6
<i>Pheidole</i> sp 2	0	0	0	0	1	1
<i>Pheidole</i> sp 3	0	0	2	1	0	0
<i>Pheidole</i> sp 4	0	1	1	3	6	0
<i>Pheidole</i> sp 5	0	0	0	0	1	2
<i>Pheidole</i> sp 6	0	0	0	1	0	1
<i>Pheidole</i> sp 7	0	0	0	0	0	1
<i>Pheidole</i> sp 8	0	0	0	0	0	1
<i>Procryptocerus scabriusculus</i>	0	0	2	0	4	0
<i>Pseudomyrmex cubaensis</i>	0	0	1	0	1	0
<i>Pseudomyrmex ejectus</i>	1	0	0	7	0	0
<i>Pseudomyrmex mexicanus</i>	0	0	2	2	1	0
<i>Pseudomyrmex pallidus</i>	4	0	5	1	5	0
<i>Pseudomyrmex</i> sp 1	1	1	1	2	0	0
<i>Pseudomyrmex</i> sp 2	1	1	0	0	0	0
<i>Pseudomyrmex</i> sp 3	0	0	0	0	0	1
<i>Pyramica brevicornis</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Pyramica cf crementa</i>	0	0	1	0	0	1
<i>Pyramica</i> sp 3	1	0	0	0	0	0
<i>Sericomyrmex</i> sp	0	0	0	0	1	0
<i>Solenopsis conjurata</i>	1	0	3	4	3	0
<i>Solenopsis geminata</i>	32	24	35	43	29	1
<i>Solenopsis picta</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Solenopsis</i> sp 1	4	1	6	9	10	1
<i>Solenopsis</i> sp 2	0	0	6	4	2	0
<i>Solenopsis</i> sp 3	1	0	0	1	1	0
<i>Solenopsis</i> sp 4	0	1	0	0	0	0
<i>Solenopsis</i> sp 5	0	0	0	0	0	1
<i>Stenamma</i> sp 1	0	0	0	0	0	1

APÉNDICE 8.1. DISTRIBUCIÓN Y FRECUENCIA DE CAPTURA DE LAS ESPECIES COLECTADAS EN LOS SEIS SITIOS DE ESTUDIO. SOL: MONOCULTIVO SIN SOMBRA ($N = 60$ MUESTRAS); VSE: MONOCULTIVO CON SOMBRA ESPECIALIZADA ($N = 70$); ONZ: CAFETAL CON SOMBRA DIVERSA ($N = 70$); ORD: CAFETAL CON SOMBRA DIVERSA ($N = 70$); MIR: CAFETAL CON SOMBRA DIVERSA ($N = 70$) Y CAÑ: BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA ($N = 60$). (CONTINUACIÓN)

Especies y morfoespecies	SOL	VSE	ONZ	ORD	MIR	CAÑ
<i>Stenamma</i> sp 2	0	0	0	0	0	2
<i>Stenamma</i> sp 3	0	0	0	0	0	2
<i>Stenamma</i> sp 4	0	0	0	0	0	6
<i>Stenamma</i> sp 5	0	0	0	0	0	1
<i>Strumigenys</i> <i>idiogenus</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Strumigenys</i> <i>louisianae</i>	2	0	0	0	0	0
<i>Strumigenys</i> <i>ludia</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Strumigenys</i> sp	0	0	2	0	0	0
<i>Tapinoma</i> sp 1	0	0	0	0	2	0
<i>Tapinoma</i> sp 2	0	0	0	0	2	0
<i>Tapinoma</i> sp 3	0	1	0	0	2	0
<i>Wasmannia</i> <i>auropunctata</i>	0	0	0	2	0	0

Escarabajos (Insecta: Coleoptera)

CUAUHTÉMOC DELOYA Y MARÍA M. ORDÓÑEZ-RESENDIZ

Resumen

El objetivo de este estudio fue obtener la diversidad y estacionalidad de Coleoptera a nivel familia. Se muestrearon coleópteros del suelo, del sotobosque y del dosel en un fragmento de bosque mesófilo de montaña, cuatro cafetales con sombra y un cafetal bajo sol. Se utilizaron necro trampas permanentes, trampas Malaise, redes de golpeo y trampas McPhail durante un año (marzo 2004-febrero 2005) de muestreo. Se obtuvieron 59,402 especímenes de Coleoptera incluidos en 61 familias con 626 especies. Los coleópteros del suelo incluyen 50 familias, los del sotobosque 44 y los del dosel 24. Las familias con mayor diversidad fueron: Chrysomelidae (73 géneros, 136 especies), Curculionidae *sensu lato* (50 géneros, 84 especies), Scolytidae (8 géneros, 27 especies) y Scarabaeidae (11 géneros, 18 especies). Las familias Staphylinidae, Carabidae, Hydrophilidae, Histeridae y Coccinellidae, de hábitos depredadores, representaron el 34% de la abundancia relativa. De las 50 familias que habitan en el suelo, 17 estuvieron presentes en todos los ambientes estudiados (98.42% de la abundancia relativa). De éstas, 10 familias incluyen más de 500 ejemplares cada una (95.63% de la abundancia: Carabidae, Curculionidae, Histeridae, Lathrididae, Leiodidae, Nitidulidae, Ptilidae, Scarabaeidae, Scolytidae, Staphylinidae). Las familias Staphylinidae, Scolytidae, Scarabaeidae y Leiodidae representaron el 82.96% de la abundancia. Tanto en el bosque como en los cafetales predominan los depredadores, mientras que los saprófagos, fitófagos y micófagos muestran porcentajes diferentes. En el suelo se obtuvo la mayor abundancia (57,052 especímenes) y diversidad de familias (50), en el sotobosque la abundancia decrece considerablemente (2139 especímenes) pero la riqueza de familias (46) es muy similar a la obtenida en el suelo, mientras que en el dosel la abundancia fue de 218 especímenes y un decremento familias aproximadamente del 50%.

Abstract

The objective of this study was to document the diversity and seasonality of Coleoptera at the family level. Soil, understory and canopy beetles were sampled in a fragment of mountain mesophyll forest, four shaded coffee plantations and one coffee plantation in the sun. Permanent necro-traps, malaise traps, strike nets and McPhail traps were used over a year of sampling (March 2004-February 2005). We collected 59,402 beetles belonging to 61 families and 626 species. Beetles from the soil belonged to 50 families, those of the understory 44 families and canopy beetles, 24 families. The families with the greatest diversity were: Chrysomelidae (73 genera, 136 species), Curculionidae *sensu lato* (50 genera, 84 species), Scolytidae (8 genera, 27 species) and Scarabaeidae (11 genera, 18 species). Families Staphylinidae, Carabidae, Hydrophilidae, Histeridae and Coccinellidae, with a predator habit, represented 34% of the relative abundance. Of the 50 families that inhabit the soil, 17 were collected from all the environments studied (98.42% of the relative abundance). Of these, there were more

than 500 specimens of each of 10 families (95.63% of the relative abundance: Carabidae, Curculionidae, Histeridae, Lathrididae, Leiodidae, Nitidulidae, Ptilidae, Scarabaeidae, Scolytidae, Staphylinidae). Staphylinidae, Scolytidae, Scarabaeidae and Leiodidae families represented 82.96% of the relative abundance. In both the forest and the coffee plantations predators predominated while saprophages, phytophages and mycophages were present to differing degrees. The abundance (57,052 specimens) and family diversity (50) of the beetle fauna in the soil was greatest, while abundance in the understory was notably lower (2,139 specimens) even though family diversity was very similar (46). Beetle abundance in the canopy was 218 specimens and family diversity was approximately half that of the other two levels of the vegetation.

INTRODUCCIÓN

Se estima que las actividades humanas sobre los ecosistemas naturales contribuyen anualmente a la extinción de cerca de 17 mil especies (Wilson 1988, May *et al.* 1995). Los grupos más diversificados son los insectos (aproximadamente 1,100,000 especies), seguidos por las plantas (250,000), otros artrópodos (125,000), moluscos (50,000), hongos (47,000) y protozoarios (31,000) (Platnick 1992, Oliver y Beattie 1993, Williams y Gastón 1994, Murphy 1990, Samways 1994). La utilización de los artrópodos como indicadores de biodiversidad general de los ecosistemas en los que viven puede ser de dos formas, mediante el número de taxa de alto rango (generalmente familias, pero se pueden incluir géneros) para predecir el número de especies y el número de especies de un grupo determinado para predecir el número de especies de otros grupos (Ribiera y Foster 1997). De acuerdo con Humphries *et al.* (1995) y Nee y May (1997) la riqueza taxonómica es un buen indicador de otros tipos de diversidad.

Dentro de los grupos de artrópodos utilizados como indicadores se encuentran las arañas, los odonatos (libélulas y caballitos del diablo), las mariposas y algunas familias de Coleoptera (Carabidae, Cicindelidae, Cerambycidae) reúnen una buena parte de los requisitos para ser considerados como buenos indicadores (Ribiera y Foster 1997). Los insectos son el grupo más diverso en el planeta y se han descrito unas 830 mil especies (Gaston 1991), estimaciones recientes indican que el número de especies puede aumentar. Los órdenes Coleoptera, Diptera, Lepidoptera e Hymenoptera, son los grupos más diversos y reúnen cerca de 700 mil especies descritas (Hammond 1974, Southwood 1978, Lawrence 1982, Arnett 1967, 1985, Evenhuis 1989, Laithwaite *et al.* 1975, Brown 1982).

En México son escasos los estudios realizados en el bosque mesófilo de montaña y en cafetales utilizando

a los Coleoptera. Mediante el uso de la necrotrampa permanente, en la Sierra Norte de Hidalgo en un bosque mesófilo de montaña perturbado se obtuvieron 20 familias de Coleoptera (Morón y Terrón 1984) y en un cafetal de 50 años de edad en Cacaohatán, Chiapas, se obtuvieron 13 familias de Coleoptera (Morón y López-Méndez 1985). Otros estudios se han enfocado a los Coleoptera Scarabaeoidea en el bosque mesófilo de Hidalgo (Morón 1994), en cafetales de Cuetzálán, Puebla (Carrillo-Ruiz y Morón 2003) y en el área de influencia del bosque mesófilo y cafetales en el centro de Veracruz (Deloya 2006, Deloya *et al.* 2007)

Descripción del grupo

El Orden Coleoptera incluye entre 150 y 168 familias dependiendo el criterio utilizado (Lawrence 1982) y se han descrito 350 mil especies, de las cuales, las familias Carabidae, Staphylinidae, Scarabaeidae (*sensu lato*), Buprestidae, Tenebrionidae, Cerambycidae, Chrysomelidae y Curculionidae reúnen el 68% de las especies descritas (238 mil especies) (Hammond 1974, Southwood 1978, Lawrence 1982, Arnett 1967, 1985). También se estima que por cada especie descrita puedan existir entre tres (1050×10^3 spp) y nueve especies no descritas (3150×10^3 spp.) (Gaston 1991), estimación similar a la obtenida por Hammond (1974) entre 2 a 5 millones de especies. De las 167 familias citadas a nivel mundial (Lawrence & Newton 1995), en la región Neotropical están representadas 127 (Costa 2000), de las cuales 114 familias están registradas en México (Blackwelder, 1944a 1944b, 1945, 1946, 1947, Navarrete Heredia y Fierros-López 2001).

El objetivo de este estudio fue conocer la diversidad y estacionalidad de la coleopterofauna del suelo, del sotobosque y del dosel, en un fragmento de bosque mesófilo de montaña, cuatro cafetales con sombra y un cafetal bajo sol.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los muestreos se realizaron entre marzo 2004 y febrero 2005 en la zona centro de Veracruz, en un fragmento de bosque mesófilo de montaña (Finca las Cañadas: CAÑ. 1360 msnm, Huatusco), cuatro fincas con sombra diversificada: “El Mirador” (MIR: cafetal rústico de sombra. 1010 msnm, Totutla), “La Vequia” (VSE: cafetal sombra especializada. 1064 msnm, Totutla), “Finca Orduña” (ORD: cafetal policultivo diverso. 1200 msnm, Coatepec), “La Onza” (ONZ: cafetal orgánico. 1100 msnm, Xico) y un cafetal bajo sol “Finca Buenavista” (SOL: sin cobertura de sombra. 1110 msnm, Teocelo). Esta clasificación está basada en la estructura vegetal (Capítulo 7).

Durante un ciclo anual de muestreo, en cada finca se utilizaron cuatro necro trampas permanentes (cebas con calamar en descomposición y alcohol acidulado 9:1 como conservador); cuatro trampas McPhail, dos trampas de intercepción del tipo Malaise y redes de golpeo. El esfuerzo de muestreo fue de 336 días/trampa de McPhail, 1440 días/trampa de necro trampas permanentes, 1152 horas de Malaise y 43.2 horas de red. Por las características del método de muestreo, los coleópteros del suelo están representados en las necro trampas, los del sotobosque por las trampas Malaise y la red de golpeo, y los del dosel por las trampas McPhail. Debido a que los insectos en estado adulto presentan una distribución temporal, no es adecuado realizar un muestreo intensivo único por finca, por lo cual se realizó el muestreo durante un ciclo anual.

Análisis de datos

Para medir la diversidad alfa en términos de riqueza de familias se utilizaron: la riqueza familiar (Sfam) y el número total de especímenes (N) para cada finca, y el estimador de la riqueza no paramétrico Chao1, para evaluar si el esfuerzo de muestreo fue suficiente y el número de familias obtenidas refleja las familias esperadas. Para medir la diversidad alfa en términos de estructura de la comunidad se utilizó el índice de diversidad de Shannon-Wiener ($H' = -\sum \phi \ln \phi$), que considera la abundancia proporcional de las familias al interior de la comunidad; el índice de equidad de los números de la serie de Hill, $E' = N_2 / N_1$, en donde: N_1 = número de especies abundantes = $e^{H'}$, N_2 = número de especies muy abundantes = $1/\lambda$, y λ = índice de Simpson. Chao2 como estimador de riqueza

esperada, el cual se basa en la abundancia para cada especie en cada muestra (Chao *et al.* 2000, Chandzon *et al.* 1998).

Para conocer la distribución en términos de abundancia que siguen las familias dominantes en las nueve comunidades estudiadas, se utilizó el modelo de dominancia/diversidad o Whittaker plots (rank/abundance o dominance/diversity curve) obtenido del $\ln \pi$ de la proporción de individuos de cada una de las familias. Para la diversidad beta se utilizó el índice de similitud de Jaccard $ISJ = c / (a + b) - c$, en donde a = número de familias de la comunidad a ; b = número de familias de la comunidad b , y c = número de familias compartidas en ambos sitios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el año de muestreo en los seis ambientes se capturaron 59,409 ejemplares de Coleoptera que representan a 65 familias y 626 especies. La mayor abundancia (a), riqueza familiar (Sfam) y riqueza específica (S) de coleópteros se registró en el suelo ($a = 96.04\%$, Sfam = 50, $S = 633$), seguida por el sotobosque ($a = 3.58\%$, Sfam = 44, $S = 251$) y el dosel ($a = 0.36\%$, Sfam = 24, $S = 51$) (Apéndice 9.1).

Los resultados obtenidos con el índice de similitud de Jaccard, indican una similitud relativamente alta entre las seis fincas, con un promedio de 64%. La mayor similitud se observó entre el cafetal rústico de sombra y cafetal orgánico (75%) compartiendo 42 familias y la menor similitud se observó entre el bosque mesófilo y cafetal bajo sol (49%). La similitud entre el bosque y los cafetales fue en promedio del 59% compartiendo 43 familias. La similitud entre los cafetales fue en promedio del 66%. A nivel familia, entre los cafetales con sombra, el recambio va del 25% al 42% (Cuadro 9.1).

Los coleópteros del suelo

Se obtuvieron 57,052 especímenes que representan a 50 familias. La mayor abundancia porcentual (a) y riqueza de familias se registró en la región de Huatusco (fragmento de bosque natural- cafetal rústico de sombra-sombra especializada: $a = 67.87\%$; $S = 42$), mientras que en la región Coatepec (cafetal policultivo diverso-cafetal orgánico-cafetal bajo sol) la abundancia está representada sólo por el 32.13% con una riqueza

Cuadro 9.1. Índice de similitud de Jaccard de las familias de Coleoptera que habitan en suelo, sotobosque y dosel en el bosque mesófilo de montaña (CAÑ) y cafetales con sombra (MIR, ONZ, ORD) y sol en el centro de Veracruz, México (marzo 2004-febrero 2005). En el triángulo superior la similitud, abajo el número de familias compartidas.

	CAÑ	MIR	ONZ	ORD	VSE	SOL
CAÑ		66	69	60	53	49
MIR	39		75	58	62	61
ONZ	69	42		70	68	73
ORD	60	34	34		66	68
VSE	53	37	35	32		62
SOL	28	36	36	32	32	

de 40 familias. En la región Huatusco las abundancias fluctuaron entre el 18.80% y 26.62%, en tanto que la riqueza osciló entre 29 y 35 familias; en la región Coatepec la abundancia observada fue de 7.92% y 14.24%, con una riqueza de 28 a 34 familias.

La familia Staphylinidae representó la mayor abundancia (49%), seguida por Scolytidae (15.15%), Scarabaeidae (11.75%), Leiodidae (7.06%), Ptilidae (4.96%), Nitidulidae (3.20%), Histeridae (1.23%), Carabidae (1.20%), Latriididae (1.96%) y Curculionidae *sensu lato* (0.97%), las otras 40 familias sólo representan 4.36% de la abundancia relativa.

De acuerdo con el número de especies registradas, las familias Staphylinidae (150 especies), Carabidae (51 especies), Scolytidae (27 especies), Histeridae (21 especies), Scarabaeidae (17 especies) y Nitulidae (12

especies) representaron el 44% de la riqueza familiar ($N = 633$ especies).

El estimador de riqueza Chao 1, indica que se obtuvo un alto porcentaje de familias esperadas en el cafetal rústico de sombra (90.7%), en el cafetal policultivo diverso (86.9%), en el cafetal orgánico (87.2%), cafetal con sombra especializada (93.5%), porcentajes bajos se obtuvieron en el bosque mesófilo (40.8%) y cafetal bajo sol (73.6%). Chao 2, que considera la abundancia de cada familia, indica altos porcentajes de riqueza esperada en el cafetal rústico de sombra (86.8%), cafetal orgánico (91.8%), sombra especializada (84.5%) y cafetal bajo sol (84.8%), en cambio en el bosque mesófilo (35.9%) y en el cafetal policultivo diverso (73.8%) los porcentajes son bajos.

La mayor riqueza se presentó en el cafetal rústico de sombra y la menor en el cafetal con sombra especializada, la riqueza varió entre 29 y 35 familias. El mayor número de familias comunes y dominantes se obtuvo en el cafetal orgánico. De las seis fincas estudiadas, en el cafetal sin cobertura de sombra, cafetal orgánico y cafetal policultivo diverso (SOL, ONZ, ORD) se obtuvo la mayor diversidad y equidad. La mayor dominancia se presentó en el cafetal sin cobertura de sombra, cafetal orgánico y cafetal rústico de sombra (SOL, ONZ, MIR) y el mayor número de familias únicas en el cafetal rústico de sombra y cafetal sombra especializada (MIR, VSE) (Cuadro 9.2).

Las curvas de dominancia/diversidad (Figura 9.1) para cada finca mostraron el mismo patrón (excepto VSE), un grupo de familias dominantes, otro grupo de familias con abundancias intermedias y un tercer grupo

Cuadro 9.2. Indicadores de diversidad de las Familias de Coleoptera del suelo en el bosque mesófilo de montaña (CAÑ) y cafetales con sombra (MIR, ONZ, ORD) y sol en el centro de Veracruz, México.

Índices/Comunidades	CAÑ	MIR	ONZ	ORD	VSE	SOL
Individuos	10,728	15,192	5683	8126	12,804	4519
Familias (S o N0)	28	36	28	30	29	34
Comunes (N_1)	4.11	5.20	7.44	5.85	3.35	6.32
Dominantes (N_2)	2.79	3.66	4.66	3.38	2.21	3.90
Raras ΣDu	11	14	10	11	14	11
Índice de Shannon-Wiener (H')	1.42	1.65	2.01	1.77	1.21	2.14
Índice de Simpson	2.79	3.67	4.67	3.39	2.21	5.04
Equidad (E')	1.47	1.42	1.59	1.70	1.51	1.62

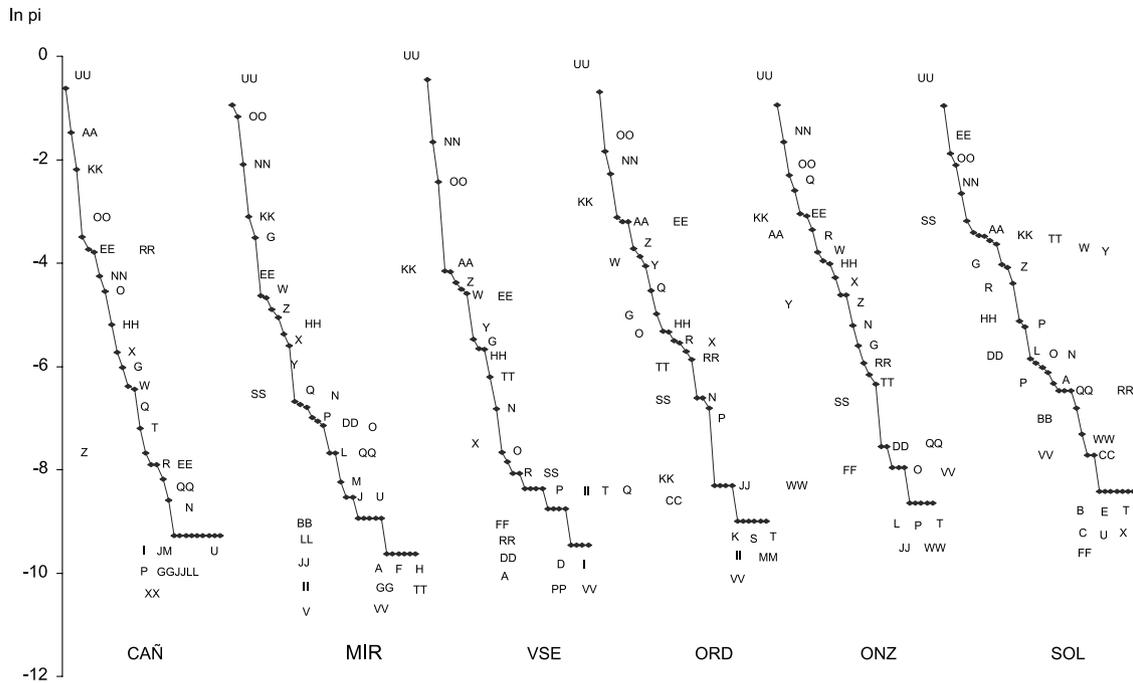


Figura 9.1. Curvas de dominancia/diversidad (Magurran 2004) de las familias de coleópteros del suelo en el bosque mesófilo de montaña (CAÑ) y cafetales con sombra (MIR, ONZ, ORD) y sol en el centro de Veracruz, México (marzo 2004-febrero 2005). Anthicidae (A), Biphyllidae (B), Bostrichidae (C), Brentidae (D), Byrrhidae (E), Cantharidae (F), Carabidae (G), Ceratocanthidae (H), Cerylonidae (I), Chrysomelidae (J), Ciidae (K), Cleridae (L), Coccinellidae (M), Colydiidae (N), Corylophidae (O), Cryptophagidae (P), Cucujidae (Q), Curculionidae (R), Dermestidae (S), Elateridae (T), Endomychidae (U), Erotylidae (V), Histeridae (W), Hybosoridae (X), Laemophloeidae (Y), Latridiidae (Z), Leiodidae (AA), Monotomidae (BB), Mordellidae (CC), Mycetophagidae (DD), Nitidulidae (EE), Nosodendridae (FF), Passalidae (GG), Phalacridae (HH), Phengodidae (II), Platypodidae (JJ), Ptiliidae (KK), Ptilodactylidae (LL), Pythidae (MM), Scarabaeidae (NN), Scolytidae (OO), Scaptiidae (PP), Scydmaenidae (Q), Silphidae (RR), Silvanidae (SS), Smicripidae (TT), Staphylinidae (UU), Tenebrionidae (VV), Trogidae (WW), Troglitidae (XX).

de familias con abundancias escasas. Este patrón concuerda con los indicadores de diversidad obtenidos.

Los coleópteros del suelo tienen actividad durante todo el año. Las mayores abundancias (>5000 especímenes) se observaron entre abril-junio, así como entre octubre-noviembre, correspondientes a la época de secas y el inicio de la época de lluvias y nortes. Las mayores riquezas se presentaron en junio (31 familias), octubre (27) y mayo (28), al inicio de cada época (Figura 9.2). Al interior de cada finca los patrones de riqueza durante las tres épocas son diferentes, excepto en CAÑ y ORD (Figura 9.3).

Agrupando a los coleópteros del suelo por hábitos tróficos, saprófagos, fitófagos, micófagos y depredadores, se observa que predominan estos últimos en las seis fincas observándose tres patrones tróficos (Figura 9.4): saprófagos/micófagos/fitófagos (CAÑ, SOL: extremos de cobertura vegetal), fitófagos/saprófagos/micófagos (MIR, ORD) y saprófagos/fitófagos/micófagos (ONZ,

VSE). Estos patrones podrían responder al tipo de manejo de los cafetales. Al eliminar parte de la cobertura vegetal se favorece el establecimiento de elementos herbáceos y los coleópteros asociados a éstos.

El número de familias de Coleoptera registradas en el presente estudio (50) utilizando el mismo método, es mucho mayor en comparación con los resultados obtenidos en la Sierra Norte de Hidalgo y en Ca-cohatán, Chiapas (Morón y Terrón 1984, Morón y López-Méndez 1985).

Los coleópteros del sotobosque

Se obtuvieron 2139 especímenes que representan a 46 familias. La abundancia porcentual es muy similar en las dos regiones (Huatusco 49.71%, Coatepec 50.28%), mientras que la riqueza familiar es mayor en la región de Huatusco (95.45%) que en Coatepec (63.63%).

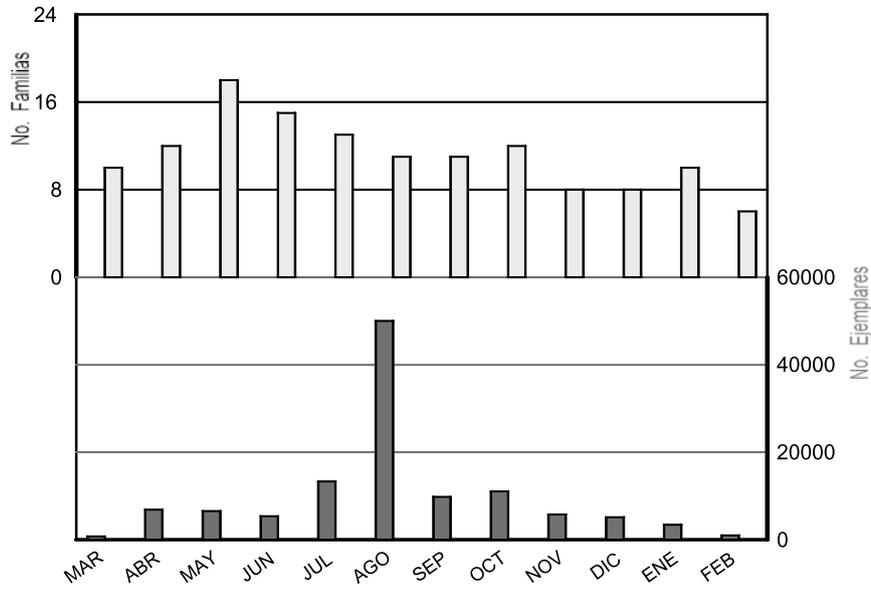


Figura 9.2. Riqueza y abundancia de los coleópteros del suelo en el bosque mesófilo de montaña (CAÑ) y cafetales con sombra (MIR, ONZ, ORD) y sol en el centro de Veracruz, México (marzo 2004-febrero 2005).

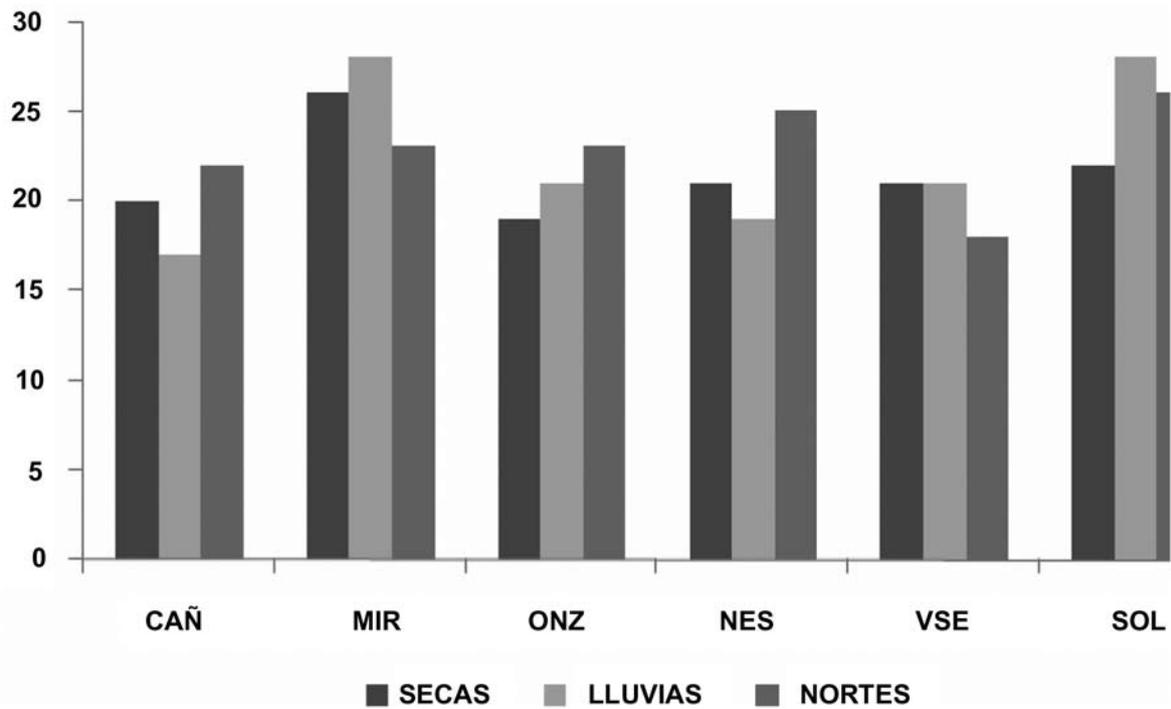


Figura 9.3. Estacionalidad de las familias de coleópteros del suelo en el bosque mesófilo de montaña (CAÑ) y cafetales con sombra (MIR, ONZ, ORD) y sol en el centro de Veracruz, México (marzo 2004-febrero 2005). La época de secas corresponde a los meses de abril y mayo; la época de lluvias a los meses junio-septiembre y la época de nortes de noviembre-marzo.

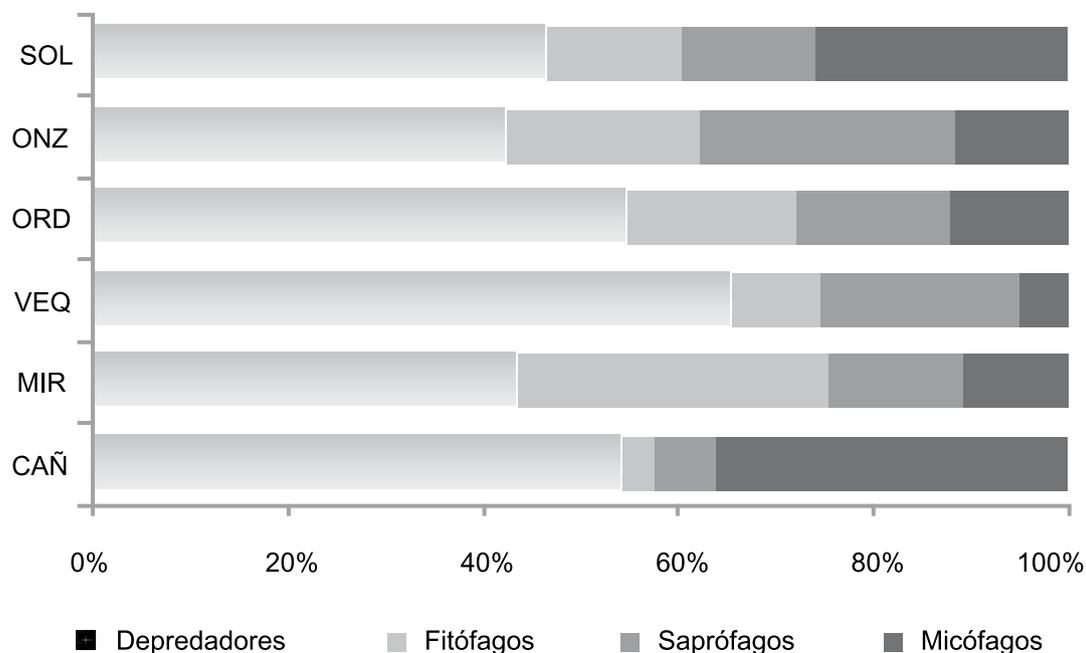


Figura 9.4. Grupos funcionales de los coleópteros del suelo en el bosque mesófilo de montaña (CAÑ) y cafetales con sombra (MIR, ONZ, ORD) y sol en el centro de Veracruz, México (marzo 2004-febrero 2005).

En la región Huatusco (CAÑ, MIR, VSE) las abundancias fluctuaron entre el 7.08% y 25.84, en tanto la riqueza osciló entre 23 y 26 familias; por su parte en la región Coatepec (ORD, ONZ, SOL) la abundancia observada fue de 8.72% y 29.97%, con una riqueza de 15 a 26 familias.

Chrysomelidae representa la mayor abundancia (51.59%), seguida por Curculionidae *sensu lato* (12.75%), Coccinelidae (10.22%), Mordellidae (3.18%), Cantharidae (3.04%), Lycidae (3.04%), las otras 38 familias sólo representan el 16.74% de la abundancia relativa.

La mayor riqueza familiar se presentó en el cafetal rústico de sombra (36) y la menor en el cafetal policultivo diverso (15). Las familias Chrysomelidae (136), Curculionidae (84) y Scolytidae (27) presentaron la mayor riqueza específica. Deloya (2006) cita 88 especies de Scarabaeidae fitófagos en las mismas fincas, excepto en el cafetal orgánico en un muestreo realizado dos años antes, lo cual hace un total de 339 especies con diferentes especializaciones en sus hábitos fitófagos en el área de influencia del bosque mesófilo de montaña y sus cafetales con diferente sistema de manejo (Cuadro 9.3).

Coleópteros del dosel

Se obtuvieron 218 especímenes que representan a 24 familias con cerca de 51 especies. La abundancia porcentual es muy similar en las dos regiones (Huatusco 50.9%, Coatepec 49.1%), mientras que la riqueza familiar es mayor en la región de Huatusco (83.3%) que en Coatepec (70.8%). En la región Huatusco (CAÑ, MIR, VSE) las abundancias fluctuaron entre el 13.3% y 19.7%, en tanto que su riqueza osciló entre 9 y 11 familias; por su parte, en la región Coatepec (ORD, ONZ, SOL) la abundancia observada fue de 9.6% y 19.7%, con una riqueza de 8-11 familias. Coccinelidae representa la mayor abundancia (21.55%), seguida por Nitidulidae (16.97%), Chrysomelidae (13.30%), Staphylinidae (11.5%), Smicripidae (9.17%), las otras 19 familias sólo representan el 27.5% de la abundancia relativa. La mayor riqueza se presentó en el cafetal policultivo diverso (12), seguida por el cafetal rústico de sombra y cafetal orgánico (11), bosque y cafetal sombra especializada (10) y, la menor en el cafetal de sol (8). En el dosel se obtuvo el menor número de familias, ejemplares y especies en relación al sotobosque y suelo (Figura 9.5).

Cuadro 9.3. Coleópteros fitófagos (expresado en número de especies) del sotobosque en un fragmento de bosque mesófilo de montaña (CAÑ) y cafetales con sombra (MIR, ONZ, ORD) y sol en el centro de Veracruz, México (* Curculionidae *sensu lato*; (+) Deloya 2006, excepto ONZ).

FAMILIA/ESPECIES	CAÑ	MIR	ONZ	ORD	VSE	SOL	TOTAL
CHRYSOMELIDAE	50	46	67	19	11	22	136
ANTHRIBIDAE	0	1	0	0	0	0	1
APIONIDAE*	1	3	0	1	0	2	4
CURCULIONIDAE*	15	18	18	15	3	6	61
DRYOPHTHORIDAE*	1	7	6	4	0	2	19
PLATYPODIDAE	0	3	0	0	0	0	3
SCOLYTIDAE	6	11	9	13	12	7	27
MELOLONTHIDAE (+)	59	31	NE	24	38	35	88
TOTAL	132	120	100	76	64	74	339

RECOMENDACIONES

Para continuar con los estudios de biodiversidad, se recomienda realizar el monitoreo de forma estandarizada, mensual y sistemática, debido a los cambios que presentan las familias de coleópteros en sus abundancias y riquezas durante el año. Utilizar las necro

trampas permanentes para la coleóptero fauna del suelo y las Malaise y red de golpeo para el sotobosque. Mediante estos dos métodos se capturó el mayor número de familias, ejemplares y especies. Considerando la estructura de la vegetación leñosa de mayor a menor riqueza arbórea CAÑ, MIR, ONZ, ORD, VSE y SOL respectivamente, el número de familias de coleópteros

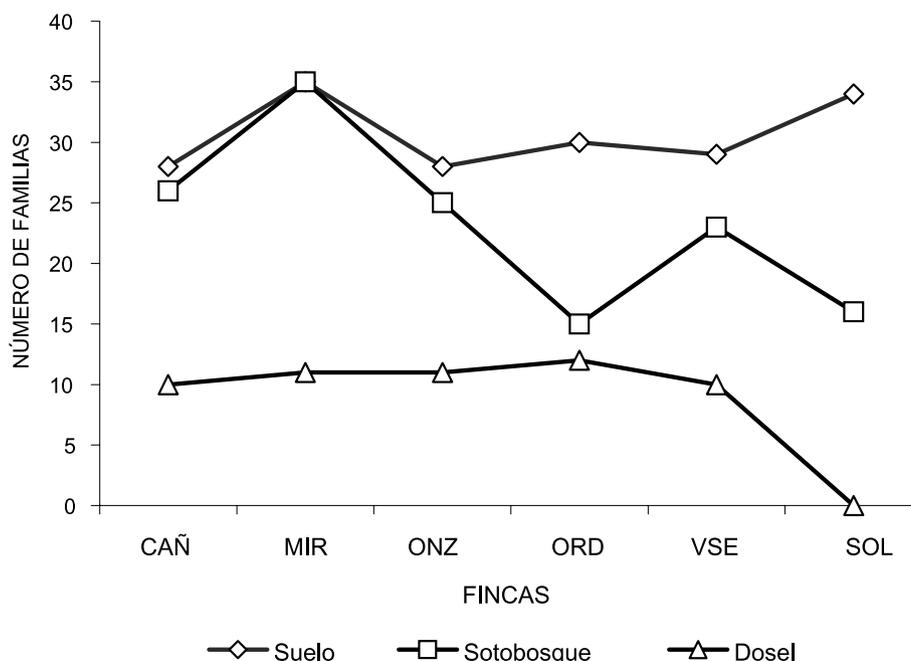


Figura 9.5. Riqueza de las familias de Coleoptera que habitan en suelo, sotobosque y dosel en el bosque mesófilo de montaña (CAÑ) y cafetales con sombra (MIR, ONZ, ORD) y sol en el centro de Veracruz, México (marzo 2004-febrero 2005), mediante tres tipos de muestreo (necro trampa permanente: suelo; Malaise: sotobosque; McPhail: dosel).

considerando los tres estratos (suelo, sotobosque y dosel) aumenta con respecto al bosque mesófilo en el cafetal rústico de sombra (MIR) y cafetal orgánico (ONZ), mientras que en el cafetal policultivo diverso (ORD) y cafetal sombra especializada (VSE) disminuyen, por una parte por la disminución de la cobertura vegetal original del bosque a un 25% aproximadamente, y a las prácticas de manejo como pueden ser la aplicación de agroquímicos.

AGRADECIMIENTOS

A los dueños de las fincas en donde se desarrolló el trabajo de campo, Ricardo Romero y Tania de Alba Rodríguez de “Las Cañadas” (CAÑ), Jorge A. Muller Grohmann de “El Mirador” (MIR), Sergio y Francisco de la Vequia Bernardi de “Herrería” (VSE), Raúl Monge Villalobos (ORD), Dionisio Pérez J. de “Buenavista” (SOL) y Ricardo García Camacho de “La Onza” (ONZ), quienes otorgaron las facilidades para realizar los estudios. Francisco A. Pech Moo, José F. Dzul Cauich, Vicente Hernández Ortiz y Sergio Ibáñez, colaboraron durante el trabajo de campo. El presente estudio se realizó en el Departamento de Entomología, Instituto de Ecología, A.C. (20008-10044) con apoyo del proyecto “Un estudio interdisciplinario sobre la conservación de la biodiversidad y los servicios ambientales del bosque mesófilo de montaña, en un gradiente de manejo de cultivo de café en el centro de Veracruz”, SEMARNAT-2002-C01-0194.

REFERENCIAS

Arnett RH. 1967. Present and future systematics of the Coleoptera in North America. *Annals of Entomological Society of America* 60:162-170.

Arnett RH. 1985. *American insects: Handbook of the insects of America north of Mexico*. Van Nostrand Reinhold. New York.

Blackwelder RE. 1944a. Checklist of the coleopterous insects of Mexico, Central America, the West Indies, and South America. Part 1. *Smitshsonian Institution United States Museum Bulletin* 185(1):1-188.

Blackwelder RE. 1944b. Checklist of the coleopterous insects of Mexico, Central America, the West Indies, and South America. Part 2. *Smitshsonian Institution United States Museum Bulletin* 185(2):189-342.

Blackwelder RE. 1945. Checklist of the coleopterous insects of Mexico, Central America, the West Indies, and South America. Part 3. *Smitshsonian Institution United States Museum Bulletin* 185(3):343-550.

Blackwelder RE. 1946. Checklist of the coleopterous insects of Mexico, Central America, the West Indies, and South America. Part 4. *Smitshsonian Institution United States Museum Bulletin* 185(4):551-764.

Blackwelder RE. 1947. Checklist of the coleopterous insects of Mexico, Central America, the West Indies, and South America. Part 5. *Smitshsonian Institution United States Museum Bulletin* 185(5):765-926.

Brown WL. 1982. Hymenoptera. En: *Synopsis and classification of living organisms* (SP Parker, ed.). McGraw-Hill. New York.

Carrillo-Ruiz H, Morón MA. 2003. Fauna de Coleoptera Scarabaeoidea de Cuetzálán del Progreso, Puebla, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 88:87-212.

Chandzon RL, Codwell RK, Denslow JS, Guariguata MR. 1998. Statistical methods for estimating species richness of woody regeneration in primary and secondary rain foresto f NE Costa Rican. p. 285-308. En: Dallmeier y JA Comisky, editors, *Forest biodiversity research, monitoring and modeling: Conceptual background and Old World case studies*. Parthenon Publishing, París.

Chao A, Hwang H, Chen YC and Kuo CY. 2000. Estimating the number of shared species in two communities. *Statistica Sinica* 10:227-246.

Costa C. 2000. Estado de conocimiento de los Coleoptera Neotropicales. En: Martín-Piera F, JJ Morrone y A Melic (editor). *Hacia un proyecto CYTED para el inventario y estimación de la diversidad entomológica en Iberoamérica: Pri-Bes-2000*. m3m: Monografías Tercer Milenio 1:99-114.

Deloya C. 2006. Escarabajos fitófagos del bosque mesófilo de montaña y comunidades derivadas en el centro de Veracruz, México (Coleoptera: Scarabaeoidea). p. 81-89. En: *Diversidad, importancia y manejo de escarabajos edafícolas*. Castro Ramírez, AE, MA Morón y A Aragón (editores). El Colegio de la Frontera Sur, Chiapas, México.

Deloya C, Parra-Tabla V, Delfin-González H. 2007. Fauna de Coleópteros Scarabaeidae Laparosticti y Trogidae (Coleoptera: Scarabaeoidea) Asociados al Bosque Mesófilo de Montaña, Cafetales bajo Sombra y Comunidades Derivadas en el Centro de Veracruz, México. *Neotropical Entomology* 36(1):5-21.

Evenhuis NL. 1989. Catalog of the Diptera of the Australasian and Oceanian regions. *Bishop Museum Special Publication* 86.

Gaston KJ. 1991. The magnitude of global insect species richness. *Conservation Biology*, vol. 5(3):283-296.

Hammond PM. 1974. Changes in the British coleopterous fauna. p. 323-369. En: *The changes flora and fauna of*

- Britain (DL Hawsorth, editor). *Systematics Association Special*, vol. no. 6. Academic Press. Londres.
- Humphries CJ, Williams PH, Vane-Wright RI. 1995. Measuring biodiversity value for conservation. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 26:93-111.
- Laithwaite E, Watson A, Whalley PES. 1975. The dictionary of butterflies and moths. Michael Joseph. Londres, Reino Unido.
- Lawrence JF. 1982. Coleoptera. p. 482-553. En: *Synopsis and classification of living organisms*. McGraw-Hill, Nueva York.
- Lawrence JF, Newton FJ. 1995. Families and subfamilies of Coleoptera (with selected genera, notes, references and data on family-group names). En: Pakaluk J, and SA Slipinsky (editors), *Biology, phylogeny and classification of Coleoptera: Papers celebrating the 80th Birthday of Roy A. Crowson*. Muzeum i Instytut Zoology PAN, Warszawa.
- Magurran AE. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Science Ltd. 256 p.
- May RM, Lawton JH, Stork NE. 1995. Assessing extinction rates. p. 1-24. En: *Extinction Rates* (Lawton JH y RM May, editors). Oxford University Press, Oxford.
- Morón MA. 1994. Fauna de Coleoptera Lamellicornia en las montañas del Noreste de Hidalgo, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 63:7-59.
- Morón MA, Terrón RA. 1984. Distribución altitudinal y estacional de los insectos necrófilos en la Sierra Norte de Hidalgo, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 3:1-47.
- Morón MA, López-Méndez JA. 1985. Análisis de la entomofauna necrófila de un cafetal en el Soconusco, Chiapas, México. *Folia Entomológica Mexicana* 69:83-98.
- Murphy DD. 1990. Conservation biology and scientific method. *Conservation Biology* 4:203-204.
- Navarrete-Heredia JL, Fierros-López HE. 2001. Coleoptera de México: Situación actual y perspectivas de estudio. p. 1-13. En: *Tópicos sobre Coleoptera de México*. Navarrete-Heredia, JL, H.E Fierros-López y A Burgos Solorio (editores). Centro de Zoología, Universidad de Guadalajara.
- Nee S, May RM. 1997. Extinction and the loss of evolutionary history. *Science* 278:692-694.
- Oliver I, Beattie AJ. 1993. A possible method for rapid assessment of biodiversity. *Conservation Biology* 7:562-567.
- Platnick NI. 1992. Patterns of biodiversity. En: *Systematics Ecology and the biodiversity crisis*. (Eldredge N, editor). Columbia University Press, Nueva York, p. 15-24.
- Ribiera I, Foster G. 1997. El uso de artrópodos como indicadores biológicos. *Bol S.E.A.* 20:265-276.
- Samways MJ. 1994. *Insect Conservation Biology*. Chapman & Hall, Londres, 358 p.
- Solbrig OT. 1991. The origin and function of biodiversity. *Environment* 33:16-38.
- Southwood TRE. 1978. The components diversity. En: *Diversity of insect faunas*. Symposia of the Royal Entomological Society, No. 9, Blackwell Scientific Publications, Oxford, U.K. p. 19-40.
- Williams PH, Gaston KJ. 1994. Measuring more biodiversity can higher-taxon richness predict wholesale species richness? *Biology Conservation* 67:211-217.
- Wilson EO. 1988. The current state of biological diversity. p. 3-18. En: *Biodiversity* (EO Wilson, editor), National Academy Press, Washington.

APÉNDICE 9.1. FAMILIAS DE COLEOPTERA DE SUELO, DOSEL Y SOTOBOSQUE (SOBOS) OBTENIDAS CON NECRO TRAMPAS PERMANENTES, TRAMPAS MALAISE, RED AÉREA Y TRAMPAS McPHAIL, EN UN FRAGMENTO DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA (CAÑ), CAFETALES CON SOMBRA (MIR, ONZ, ORD) Y SOL EN EL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO (EXPRESADO EN NÚMERO DE EJEMPLARES).

FINCA	CAÑ	MIR	ONZ	ORD	VSE	SOL	CAÑ	MIR	ONZ	ORD	VSE	SOL	CAÑ	MIR	ONZ	ORD	VSE	SOL
FAMILIAS	suelo	suelo	suelo	suelo	suelo	suelo	sobos	sobos	sobos	sobos	sobos	sobos	dosel	dosel	dosel	dosel	dosel	dosel
Anobidae	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anthicidae	0	1	0	0	2	7	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Anthribidae	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Attelabidae	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Biphylidae	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bostrichidae	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Brentidae	0	0	0	0	1	0	0	14	1	1	2	1	0	2	0	0	0	0
Buprestidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Byrrhidae	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Callirhipidae	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cantharidae	0	1	0	0	0	0	5	3	37	12	3	5	0	0	0	0	1	4
Carabidae	26	457	21	56	45	81	5	4	0	0	1	6	0	2	1	0	0	0
Cerambycidae	0	0	0	0	0	0	1	9	2	2	0	2	0	0	0	0	1	0
Ceratocanthidae	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cerylonidae	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chrysomelidae	4	25	128	33	4	56	203	256	402	111	66	62	7	4	2	2	7	7
Ciidae	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cleridae	0	0	0	1	0	0	8	7	2	0	2	1	1	0	1	1	0	2
Coccinellidae	0	7	1	0	0	10	11	27	49	67	18	46	0	6	7	7	9	18
Colydiidae	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corylophidae	2	17	31	11	14	12	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cryptophagidae	113	12	2	40	5	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cucujidae	1	14	1	9	3	24	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Curculionidae	17	19	424	88	3	8	18	116	66	39	15	18	1	6	1	3	0	1
Dermestidae	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Dytiscidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elateridae	8	0	1	1	3	1	1	4	1	2	3	4	0	0	0	0	1	2
Endomychidae	1	3	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Erotylidae	0	2	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Histeridae	18	140	108	168	141	128	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Hybosoridae	35	70	79	32	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hydrophilidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Laemophloeidae	0	56	56	141	54	119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Lampyridae	0	0	0	0	0	0	12	15	2	2	9	0	0	0	2	1	2	0
Languriidae	0	0	0	0	0	0	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Latridiidae	5	113	56	197	161	76	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Leiodidae	2471	681	198	332	202	149	2	3	4	0	2	0	1	0	0	0	0	0
Lycidae	0	0	0	0	0	0	15	22	11	2	3	0	0	0	0	0	0	0
Meloidae	0	0	0	0	0	0	4	5	11	0	0	2	0	0	1	0	0	0
Melyridae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Monotomidae	0	2	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mordellidae	0	0	0	2	0	2	4	9	14	3	14	24	0	0	0	0	0	0
Mycetophagidae	0	13	3	0	2	13	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mycteridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitidulidae	256	149	270	331	130	693	3	0	8	0	2	6	2	12	2	4	12	5
Nosodendridae	4	0	2	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Passalidae	1	1	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Phalacridae	60	97	103	39	44	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Phengodidae	0	2	0	1	3	0	0	3	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0
Platypodidae	1	2	1	2	0	0	6	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ptiliidae	1196	682	258	360	197	142	0	0	0	0	0	0	6	0	1	1	0	0
Ptilodactylidae	1	2	0	2	0	0	32	4	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Pythidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Salpimigidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

APÉNDICE 9.1. FAMILIAS DE COLEOPTERA DE SUELO, DOSEL Y SOTOBOSQUE (SOBOS) OBTENIDAS CON NECRO TRAMPAS PERMANENTES, TRAMPAS MALAISE, RED AÉREA Y TRAMPAS McPHAIL, EN UN FRAGMENTO DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA (CAÑ), CAFETALES CON SOMBRA (MIR, ONZ, ORD) Y SOL EN EL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO (EXPRESADO EN NÚMERO DE EJEMPLARES). (CONTINUACIÓN)

FINCA	CAÑ	MIR	ONZ	ORD	VSE	SOL	CAÑ	MIR	ONZ	ORD	VSE	SOL	CAÑ	MIR	ONZ	ORD	VSE	SOL
FAMILIAS	suelo	suelo	suelo	suelo	suelo	suelo	sobos	sobos	sobos	sobos	sobos	sobos	dosel	dosel	dosel	dosel	dosel	dosel
Scarabaeidae	153	1865	1090	835	2446	318	2	1	7	1	0	3	1	2	0	0	0	0
Scolytidae	326	4766	572	1295	1136	549	2	2	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0
Scaptidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Scydmaenidae	3	7	3	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Silphidae	244	0	15	27	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Silvanidae	0	18	10	11	4	186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Smicripidae	0	1	12	23	26	139	0	0	0	0	0	0	1	2	2	11	4	0
Staphylinidae	5778	5958	2235	4084	8165	1738	13	13	9	0	0	4	5	5	0	10	1	4
Telegeusidae	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tenebrionidae	0	1	2	1	1	2	0	3	1	0	1	0	4	0	0	0	0	0
Bruchidae	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	1	1	0	0	0	0	1	0
Trogidae	0	0	1	2	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trogositidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anfibios y reptiles

ALBERTO GONZÁLEZ-ROMERO Y RENÉ MURRIETA-GALINDO

Resumen

El objetivo de este capítulo es conocer la riqueza y diversidad de anfibios y reptiles en cafetales sujetos a diferentes tipos de manejo. Se estimó la diversidad de anfibios y reptiles en seis sitios: cinco fincas cafetaleras (rústico tradicional, policultivo tradicional, sombra especializada y bajo sol) y un bosque mesófilo como testigo. Se comparó la riqueza y composición de la comunidad herpetofaunística entre sitios. Se muestrearon los diferentes microhábitat. Se analizó la riqueza y la composición de especies por sitio con datos de presencia y ausencia. Se empleó el índice de similitud de Jaccard para conocer la composición de las comunidades. La complementariedad se analizó como un factor importante para determinar el porcentaje de especies compartidas o recambio de la diversidad entre pares de sitios. Se registraron 38 especies (24 anfibios, 14 reptiles): 11 especies son exclusivas de los cafetales. La riqueza mostró que el bosque fue el más diverso ($S = 27$), después el cafetal rústico ($S = 24$). La composición de especies determinó a los cafetales tradicionales como los más diversos con 28 especies. La similitud promedio fue menor entre cafetales y el bosque ($IS_j = 0.47$), por tanto, una mayor complementariedad promedio ($C = 0.53$), estimando un alto recambio de especies. Los cafetales tradicionales que preservan características estructurales del bosque deben ser conservados para la permanencia de la diversidad herpetofaunística

Abstract

The objective of this chapter is to know the species richness and diversity of amphibians and reptiles in coffee plantations with different management plans. We estimated the herpetofauna diversity in different sites in Central Veracruz: five coffee plantations (rustic traditional, traditional poli-crops, specialized shade and without shade), and a cloud forest the original vegetation. Our objectives were to compare species richness and composition of the herptile communities within sites. We performed diurnal and nocturnal transects searching for amphibians and reptiles in different microhabitats. We analyzed species richness by presence and absence. To know community composition, we used Jaccard index. Complementarity was analyzed as an important factor to know the proportion of species that were common or complementary to each pair of habitats. We registered 38 species (24 amphibians and 14 reptiles): 11 species were exclusive of coffee plantation, species richness was higher in the forest ($S = 27$), followed by the rustic plantation ($S = 24$). The most diverse site was the traditional coffee plantation with 28 species. Mean similarity was less between plantations and the forest ($IS_j = 0.47$), therefore, a higher mean complementation ($C = 0.53$), estimating a high species interchange. Coffee plantations must be conserved, especially those with traditional management, because they preserve some of the structural characteristics of the original cloud forest allowing the presence of amphibians and reptiles habitats.

INTRODUCCIÓN

Los cultivos de café se localizan en las laderas o franjas de zonas montañosas de elevaciones medias entre los 500 a 2000 msnm en Veracruz (Pimentel *et al.* 1992). Se sitúan en zonas designadas como prioritarias para la conservación por su alta riqueza biológica

La zona centro del Estado de Veracruz es un área que anteriormente estaba cubierta por bosque mesófilo de montaña, donde ahora sólo quedan fragmentos muy aislados, ya que ha sido desplazado por diferentes usos de suelo, y por tanto, considerado como un bioma muy amenazado puesto que constituye menos del 1% del territorio nacional (Flores-Villela y Geréz 1994, Aldrich *et al.* 2000, Williams-Linera *et al.* 2002, Sanchez *et al.* 2003, Cayuela *et al.* 2006). Se caracteriza por ser una zona de transición rica en especies neárticas y neotropicales, que aporta un sinnúmero de beneficios ambientales, entre los que destaca la captación de agua y carbono (Aldrich *et al.* 2000). Cabe destacar que la diversidad herpetofaunística para Veracruz es considerada como alta y con un gran número de endemismos (Smith y Smith 1976, Pelcastre y Flores-Villela 1992, Flores-Villela 1993, Ramammoorthy *et al.* 1993, Flores-Villela *et al.* 2005) debido a su compleja y accidentada topografía y variedad de climas.

Los anfibios constituyen un grupo taxonómico representado por una diversidad de formas de vida que muestra características biológicas distintivas como son: 1) Alta sensibilidad a los cambios o modificaciones ambientales a diferentes escalas (indicadores biológicos), 2) Alta fidelidad y permanencia a sus hábitat y microhábitat; 3) Ciclos de vida acuática y terrestre (bifásico) y otras con desarrollo embrionario directo (diversidad de modos reproductivos) y 4) Piel de alta permeabilidad a sustancias químicas y radiación UV provenientes del ambiente (Duellman y Trueb 1994, Blaustein *et al.* 1994, Stebbins y Cohen 1995, Young 2001).

Los reptiles, por otro lado, son más resistentes a los cambios en el ambiente, gracias a que presentan una piel impermeable que les protege en contra de muchas de las alteraciones en su medio ambiente. En contraste con los anfibios, que presentan una gran diversidad de medios de reproducción, los reptiles solamente presentan tres modos básicos, siendo la mayoría de ellos ovíparos, cuyos huevos son incubados bajo la tierra o en cuevas dependiendo más de la temperatura que de la humedad, y requieren de las radiaciones UV para su bienestar.

Por lo tanto, bajo este contexto, se justifica estudiar la diversidad de anfibios y reptiles en cafetales, ya que no se cuenta con el conocimiento suficiente para determinar y entender los cambios generados en los ensamblajes de especies a partir del establecimiento de los agrosistemas de café en una amplia franja de la zona centro del Estado de Veracruz.

MATERIAL Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza en la zona montañosa central de Veracruz, que comprende los Municipios de Xalapa, Coatepec, Xico, Teocelo y Huatusco, con una temperatura media anual de 18 °C y a una elevación que va de los 1000 a los 1590 m, con una precipitación media anual de 1800 mm (Soto y Gómez 1990).

Los sistemas de producción de café se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de manejo como: rústico tradicional, policultivo tradicional, sombra especializada y monocultivo sin sombra conocido como cafetal de sol, creando un gradiente de manejo (Moguel y Toledo 1999), lo que implica un cambio en las condiciones medioambientales a microescala o macroescala (Saunders *et al.* 1990).

Por lo tanto, se definió como tipo de manejo al grado de tecnificación de un área dedicada al cultivo de café y que antes constituía otro bioma (bosque mesófilo de montaña), el grado de tecnificación involucra la remoción o manejo de sus componentes bióticos de tal forma, que se obtenga un mayor rendimiento y beneficio productivo (Perfecto y Armbrrecht 2003), tal es el caso del manejo tradicional como el policultivo y el rústico, caracterizándose por ser un sistema productivo de café acorde con un estado ecológicamente propicio para el mantenimiento de la diversidad de elementos bióticos y abióticos y caracterizados por mantener una buena cobertura tanto de especies nativas como mezcladas con no nativas dentro del sistema productivo del cafetal.

Otro sistema productivo con un mayor grado de manejo o tecnificación es el cafetal de sombra especializada, que ofrece una sombra de árboles no nativos uniforme y con un mayor aporte de agroquímicos en ciertas etapas de la producción; por ello, entre los puntos más importantes a considerar en el manejo del sistema productivo de café es poseer o no cobertura en sus distintos grados, ya que ofrece un menor impacto de las condiciones medioambientales que actúan dentro

y fuera del cafetal (Nestel 1995, Perfecto y Armbrrecht 2003). Sin embargo, existe la mayor tecnificación en el proceso de manejo de las fincas cafetaleras, el monocultivo sin sombra o cafetal bajo sol, que presenta la total remoción de toda la vegetación circundante incluyendo árboles, la cual involucra especies cafetaleras con una alta producción de café con base en el empleo de una constante aplicación de agroquímicos tales como fertilizantes, fungicidas, insecticidas, herbicidas entre otros (Moguel y Toledo 1999).

Las fincas cafetaleras para este estudio presentaron un tipo de manejo y producción al cual están sujetos (están activas y producen café anualmente), por lo que, se clasificaron de acuerdo con las definiciones de Moguel y Toledo (1999).

Técnica de relevamientos por encuentros visuales

Esta técnica consistió en una búsqueda minuciosa en los lugares y microhábitat más factibles para detectar anfibios y reptiles, realizando dos recorridos diarios (diurno y nocturno) al azar en cada sitio de estudio, lo que permitió hacer las comparaciones entre hábitat de diferentes dimensiones, pero con cierta similitud (Crump y Scott 1994). En todos los casos, los organismos fueron capturados con la mano, ayudados de redes en el caso de anfibios y de ganchos herpetológicos y ligas para los reptiles.

Los animales capturados fueron soltados *in situ*, después de que se les tomaban los datos necesarios como fecha, lugar, sexo en la medida de lo posible, edad (juvenil, adulto), medidas y estado general del animal, además de apuntar la actividad que realizaban y el lugar físico del avistamiento. Solo cuando no se pudieron identificar los individuos en el campo mediante las guías, éstos fueron colectados y llevados al laboratorio para su posterior identificación.

Riqueza específica (S)

La riqueza específica se define y fue analizada para este estudio en función del número de especies registradas en cada sitio de estudio obtenidas a través de la técnica de relevamientos por encuentros visuales. Esta técnica permite la obtención relativamente simple e importante del valor de una muestra de la comunidad (Magurran 1988, Feinsinger 2003). Se generaron tablas comparativas basadas en el tipo de manejo al

cual están sujetas las fincas cafetaleras y el fragmento de bosque mesófilo de montaña.

Índice de similitud de Jaccard

Se empleó el índice de similitud de Jaccard para comparar la asociación entre la herpetofauna de cada cafetal y el fragmento de bosque mesófilo de montaña a partir del número de especies compartidas, ya que no distingue entre las especies más abundantes o raras. Por lo que, este índice va de 0 cuando son totalmente diferentes, a 1 cuando son idénticos (Magurran 1988, Moreno 2001). Empleando la siguiente fórmula:

$$I_J = \frac{C}{a + b - c}$$

donde:

- a = número de especies presentes en el sitio A
- b = número de especies presentes en el sitio B
- c = número de especies compartidas por ambos sitios (A y B)

Asimismo, se realizó un análisis de conglomerados para relacionar la herpetofauna en los diferentes cafetales y el fragmento de bosque mesófilo empleando UPGMA (unweighted pair-group method with arithmetic averaging) como medida de agrupamiento y el índice de similitud de Jaccard como medida de proximidad (Magurran 1988).

Complementariedad

Se evaluó la complementariedad como el grado de disimilitud en la composición de anfibios entre pares de comunidades (Colwell y Coddington 1994). Para obtener el valor de complementariedad entre las fincas cafetaleras y el fragmento de bosque mesófilo (como control), este índice se obtuvo por medio de la siguiente fórmula:

$$C = \frac{S_j + S_k - 2V_{jk}}{S_j + S_k - V_{jk}} \times 100$$

donde C es la complementariedad entre los sitios j y k ; S_j y S_k son el número de especies registradas para los sitios j y k , V_{jk} es el número de especies comunes entre los sitios j y k .

Varía desde 0 cuando ambos sitios son idénticos en su composición de especies, hasta 1 cuando son totalmente diferentes, es decir, el valor obtenido es un significado inverso a la similitud indicando la tasa de recambio entre pares de sitios o diversidad beta (Magurran 1988, Halffter 1998, Moreno 2001, Feinsinger 2003). La nomenclatura taxonómica presentada en este estudio está actualizada con base en los trabajos de: Lynch (2000), Faivovich *et al.* (2005), Crawford y Smith (2005), Frost *et al.* (2006), IUCN *et al.* (2006) e ITIS (2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registraron un total de 38 especies distribuidas en 24 spp de anfibios y 14 de reptiles, pertenecientes a quince familias, contabilizando un total de 106 registros para las cinco fincas cafetaleras sujetas a un diferente manejo y un fragmento de bosque mesófilo (Cuadro 10.1).

La composición de especies entre los sitios mostró 11 especies exclusivas de los cafetales en conjunto y 8 del fragmento de bosque. Donde 19 especies complementan una tasa de recambio o diversidad beta entre los cafetales y el fragmento de bosque mesófilo de montaña (Cuadro 10.2).

Cabe destacar que de las 38 especies registradas en la literatura para el bosque mesófilo de montaña de la región de Xalapa, 28 especies se encontraron en los cafetales con un manejo tradicional indicando un grado de conservación estructural propicio para la herpetofauna.

Con base en el gradiente de manejo estudiado, la distribución de especies o equitatividad en número de registros mostraron al fragmento de bosque mesófilo (CAÑ, $S = 27$) y el cafetal rústico tradicional (MIR, $S = 24$) como los más diversos, seguidos por los policultivos tradicional (ORD y ONZ); y por último, los de sombra especializada (VSE) y cafetal bajo sol (SOL) (Cuadro 10.2)

El análisis de conglomerados con el índice de Jaccard distinguió los sitios con una mayor similitud en composición de especies, a los policultivos tradicionales (ONZ y ORD) y el cafetal rústico tradicional y el fragmento de bosque (MIR y CAÑ). Los sitios que presentaron diferencias notables en su composición permanecieron alejados y sin un orden de agrupamiento fueron el cafetal sombra especializada (VSE) y bajo sol (SOL) (Figura 10.1).

La similitud promedio fue menor entre los cafetales y el fragmento de bosque ($IS_7 = 0.47$), por lo tanto, una mayor complementariedad promedio ($C = 0.53$) estimando un alto recambio de especies, es decir, indicó que el mayor porcentaje de especies registradas fue dado por el conjunto de sitios agrupados, por tanto, la diversidad se aprecia a una escala de intercambio de especies bajo este gradiente de manejo ambiental.

RECOMENDACIONES

La conservación, preservación y mantenimiento de la diversidad de anfibios y reptiles depende en alto grado de la importancia y valor agregado que se da a los cafetales sujetos a los diferentes manejos. Especialmente son importantes los cafetales con un manejo tradicional, sin embargo, es necesario que los cafeticultores tiendan hacia una cultura de una producción más amigable con el ambiente y libre de agroquímicos, en tal caso reconocerlos como proveedores de servicios ambientales en toda la franja que antes constituía el bosque mesófilo de montaña y que actualmente los cafetales que lo sustituye conservan en conjunto una porción importante de la herpetofauna original.

Una opción rentable es la certificación de café basada en la producción de café orgánico y propiciar el manejo tradicional, ya que los cambios o impactos generados sobre las comunidades de herpetofauna presentados y evaluados por este estudio varían conforme aumenta el gradiente de manejo y con resultados similares para el ambiente estudiado pero con otros grupos tales como con anfibios (Anuros) (Pineda y Halffter 2004, Pineda *et al.* 2005, Murrieta-Galindo 2007), árboles y orquídeas (Williams-Linera 2005, Solis-Montero *et al.* 2005), escarabajos (Pineda *et al.* 2005, Arellano *et al.*), mamíferos pequeños y medianos (Gallina *et al.* 1998, Capítulo 12) y murciélagos (Capítulo 13) entre otros, nos hace proponer a estos sitios como prioritarios para ser conservados.

Concientizar sobre la importancia de la diversidad de anfibios y reptiles en las fincas cafetaleras, con el propósito de indicar los beneficios que proporciona al ecosistema, tal como es el caso de ser importantes presas para depredadores en una mayor escala trófica (Duellman y Trueb 1994, Campbell 1999), lo que permitiría sostener algunas especies de las que se hace uso de manera directa como carne, medicinal y otros subproductos. Asimismo regulan y controlan

Cuadro 10.1. Herpetofauna registrada para las fincas cafetaleras sujetas a diferente manejo y un fragmento de bosque mesófilo de montaña en la zona centro de Veracruz.

Fragmento bosque mesófilo	CAÑ	MIR	ORD	ONZ	VSE	SOL	Total de registros
<i>Chaunus marinus</i>			X				1
<i>Ollotis valliceps</i>		X	X	X			3
<i>Craugastor berkenbuschii</i>	X	X		X	X		4
<i>Craugastor loki</i>	X			X			2
<i>Craugastor mexicanus</i>	X		X	X	X	X	5
<i>Craugastor pygmaeus</i>		X	X	X	X	X	5
<i>Craugastor rhodopis</i>	X	X	X				3
<i>Craugastor sp. 14</i>	X						1
<i>Craugastor sp. 5</i>	X						1
<i>Craugastor sp. 8</i>	X			X			2
<i>Craugastor sp. 9</i>	X				X		2
<i>Syrrhophus nitidus</i>		X			X		2
<i>Syrrhophus cystignathoides</i>		X	X	X	X	X	5
<i>Hyalinobatrachium fleishmanni</i>	X	X		X			3
<i>Ecnomiohyla miotympanum</i>	X	X	X	X	X	X	6
<i>Charadrahyla taeniopus</i>	X						1
<i>Smilisca baudinii</i>		X					1
<i>Leptodactylus fragilis</i>	X	X	X	X	X		5
<i>Hypopachus variolosus</i>		X			X		2
<i>Lithobates berlandieri</i>	X	X	X	X		X	5
<i>Lithobates vaillanti</i>		X					1
<i>Bolitoglossa platydactyla</i>						X	1
<i>Parvimolge towsendi</i>	X						1
<i>Pseudoeurycea sp.</i>	X						1
<i>Kinosternon herrerae</i>	X	X					2
<i>Hemidactylus mabouia</i>		X					1
<i>Sceloporus variabilis</i>	X	X	X	X	X	X	6
<i>Norops sericeus</i>	X	X					2
<i>Norops schiedii</i>	X	X					2
<i>Scincella gemmingeri</i>	X	X					2
<i>Cnemidophorus guttatus</i>						X	1
<i>Coniophanes fissidens</i>	X						1
<i>Drymarchon corais</i>	X	X	X	X	X	X	6
<i>Drymobius margaritiferus</i>	X						1
<i>Geophis semidoliatus</i>	X	X	X	X	X	X	6
<i>Ninia diademata</i>	X	X	X	X	X	X	6
<i>Spilotes pullatus</i>	X	X	X	X	X	X	6
<i>Atropoides nummifer</i>	X	X	2				2
							106
Total de especies por sitio	27	24	14	16	14	12	
Total de especies	38						

Cuadro 10.2. Herpetofauna registrada con base a su distinción de exclusiva o compartida entre los cafetales sujetos a diferente manejo y un fragmento de bosque mesófilo de montaña.

Exclusivas cafetal	Exclusivas bosque mesófilo de montaña	Compartidas entre bosque cafetal
<i>Chaunus marinus</i>	<i>Craugastor</i> sp. 1	<i>Craugastor berkenbuschii</i>
<i>Ollotis valliceps</i>	<i>Craugastor</i> sp. 2	<i>Craugastor loki</i>
<i>Craugastor pygmaeus</i>	<i>Craugastor</i> sp. 3	<i>Craugastor mexicanus</i>
<i>Syrrhophus nitidus</i>	<i>Charadrahyla taeniopus</i>	<i>Craugastor rhodopis</i>
<i>Syrrhophus cystignathoides</i>	<i>Parvimolge towsendi</i>	<i>Craugastor</i> sp. 4
<i>Smilisca baudinii</i>	<i>Pseudoeurycea</i> sp.	<i>Hyalinobatrachium fleischmanni</i>
<i>Hypopachus variolosus</i>	<i>Coniophanes fissidens</i>	<i>Ecnomiophyla miotypanum</i>
<i>Lithobates vaillanti</i>	<i>Drymobius margaritiferus</i>	<i>Leptodactylus fragilis</i>
<i>Bolitoglossa platydactyla</i>		<i>Lithobates berlandieri</i>
<i>Hemidactylus mabouia</i>		<i>Kinosternon herrerae</i>
<i>Cnemidophorus guttatus</i>		<i>Sceloporus variabilis</i>
		<i>Norops sericeus</i>
		<i>Norops schiedii</i>
		<i>Scincella gemmingeri</i>
		<i>Drymarchon corais</i>
		<i>Geophis semidoliatus</i>
		<i>Ninia diademata</i>
		<i>Spilotes pullatus</i>
		<i>Atropoides nummifer</i>

las poblaciones de una gran cantidad de insectos (himenópteros, ortópteros, coleópteros, entre otros) de manera natural; los cuales pueden llegar a ser plaga en los cultivos y zonas circundantes a estos agrosistemas si la herpetofauna se ve erradicada.

Al conservar los cafetales bajo un manejo tradicional, estaremos conservando especies de anfibios tales como la ranita de cristal (*Hyalinobatrachium fleischmanni*), la cual necesita de una cobertura nativa bien conservada (Duellman 1970) y los sapitos de hojarasca (*Craugastor berkenbuschii*, *Craugastor loki*, *Craugastor mexicanus*, *Craugastor pygmaeus*, *Craugastor rhodopis*) y reptiles como los chipojos (*Norops sericeus*, *Norops schiedii*), y las culebras (*Coniophanes fissidens*, *Drymobius margaritiferus*), así como la víbora mano de metate (*Atropoides nummifer*) especie protegida por las leyes mexicanas. Estas especies son además sensibles a las perturbaciones e indicadores de un bosque mesófilo bien conservado con base en los trabajos de Smith y Smith (1976), Campbell (1999), Pelcastre y Flores-Villela (1992), Flores Villela (1993), ITIS (2006) e IUCN *et al.* (2006).

Por otro lado, la comparación de las demás especies registradas para los cafetales con un manejo

tecnificado bajo sol (SOL) y de sombra especializada (VSE), como para otros grupos taxonómicos tales como himenóptera, homóptera coleóptero y aves, en estos agrosistemas mayormente transformados y con empleo de agroquímicos, se presentan disminuciones o fuertes cambios en la riqueza, estructura (particularmente la dominancia) y composición de especies (Véanse compilaciones: Perfecto y Armbrecht 2003); lo que refuerza la idea de que estos agrosistemas son hábitat difíciles de ser recolonizados o mantener poblaciones viables de especies de reptiles y anfibios con requerimientos específicos de hábitat, principalmente a estos últimos.

Implementar programas agroforestales destinados a convertir los cafetales con un manejo bajo sol y sombra especializada a sistemas más amigables, como lo es el manejo tradicional; ya que generarían un mayor ingreso debido a la diversificación de cultivos y a su vez una mayor cobertura arbórea al reforestar, y consecuentemente mejores condiciones a macro y micro escala dentro de los cafetales permitiendo una mayor diversidad tanto de flora como fauna.

Cuadro 10.3. Matriz de complementariedad (bold = negritas) y similitud para el conjunto de sitios muestreados. Los valores en negritas representan el recambio de especies entre pares de sitios. Abreviaturas: CAÑ: fragmento de mesófilo de montaña, MIR: Rústico tradicional, ORD y ONZ: Policultivo tradicional, VSE: Cafetal con sombra especializada y SOL: Cafetal bajo sol.

Sitios	CAÑ	MIR	ORD	ONZ	VSE	SOL
cañ		50	68	57	68	74
mir	50		54	52	54	67
ord	32	45		33	44	38
onz	43	48	67		42	44
vse	26	46	56	58		47
sol	26	33	62	56	53	

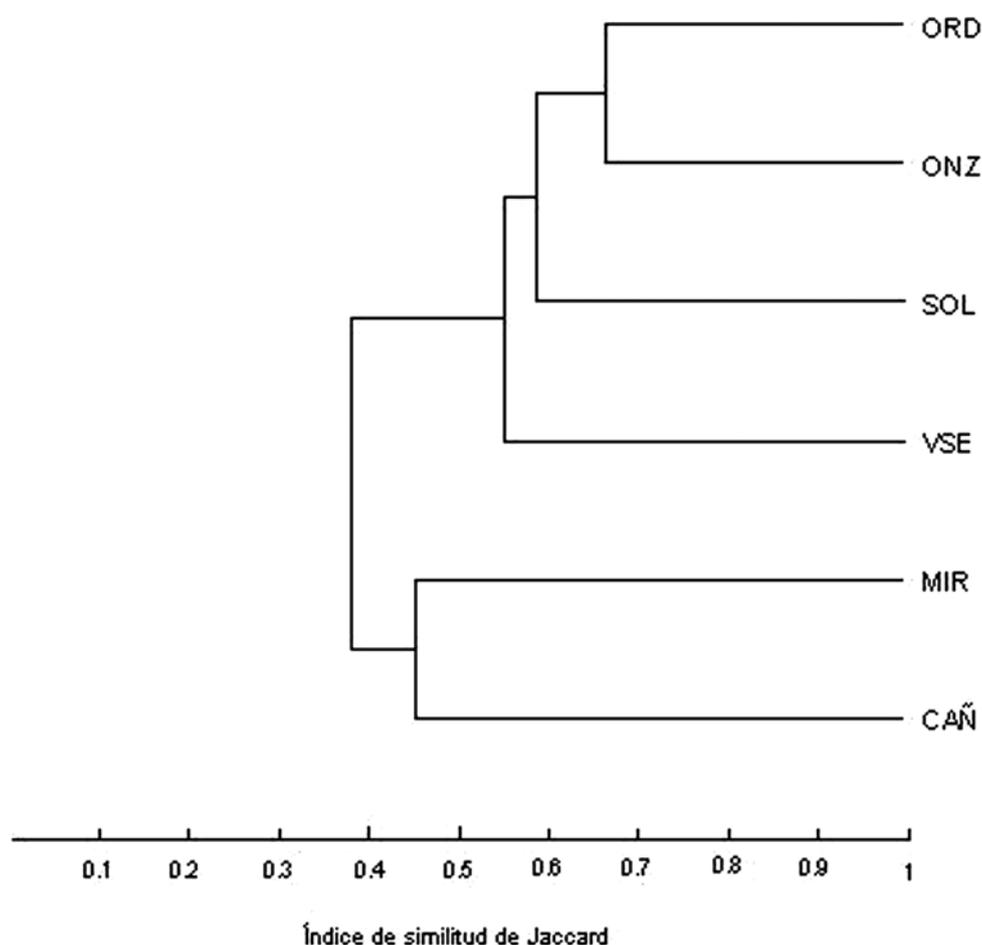


Figura 10.1. Dendrograma generado a partir de un análisis de conglomerados para las fincas cafetaleras sujetas a diferente manejo y un fragmento de bosque mesófilo de montaña. Se empleó UPGMA como medida de agrupamiento y el índice de similitud de Jaccard como medida de proximidad. Abreviaturas: CAÑ: fragmento de mesófilo de montaña, MIR: Rústico tradicional, ORD y ONZ: Policultivo tradicional, VSE: Cafetal con sombra especializada y SOL: Cafetal bajo sol.

AGRADECIMIENTOS

Los autores queremos agradecer especialmente al señor Rene A. Murrieta Hdez. (senior) por su apoyo en el campo, a los cuidadores de las fincas por haber compartido con nosotros su conocimiento sobre los anfibios y reptiles. Queremos también agradecer a Sonia Gallina T., Eduardo Pineda y dos revisores anónimos por sus acertados comentarios para mejorar este trabajo.

REFERENCIAS

- Aldrich MP, Buba S, Hostettler H, van der Wiel H, 2000. Tropical Montane Cloud forest: Time for action. In: Bruijnzeel LA, Hamilton LS editor. *IHP Humid Tropics Programme*, Serie No. 13, UNESCO. p. 22.
- Arellano L, Favila ME, Huerta C. 2005. Diversity of dung and carrion beetles in a disturbed Mexican tropical montane cloud forest and on shade coffee plantations. *Biodiversity and Conservation* 14:601-615.
- Blaustein AR, Wake DB, Sousa WP. 1994. Amphibian declines: Judging Stability, Persistence, and Susceptibility of Populations to local and Global Extinctions. *Conservation Biology* 8:60-71.
- Campbell JA. 1999. *Amphibians and Reptiles of Northern Guatemala, the Yucatan and Belize*. University of Oklahoma Press, Norman. 380 p.
- Cayuela L, Golicher DJ, Rey-Benayas JM. 2006. The Extend, Distribution, and Fragmentation of Vanishing Montane Cloud Forest in the Highlands of Chiapas, Mexico. *Biotropica* 38(4):544-554.
- Challenger A. 1998. *Utilización y Conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, Presente y Futuro*. CONABIO-UNAM-Agrupación Sierra Madre, SC. México, D.F. 847 p.
- Crump ML, Scott Jr. NJ. 1994. Visual Encounter Survey. In: Heyer WR, Donnelly MA, McDiarmid RW, Hayek LAC, Foster MS editor. *Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods for Amphibian*. Washington, DC: Smithsonian Institution Press. p. 84-92.
- Duellman WE. 1970. *Hylid Frogs of Middle America*. Monographs of the Museum of Natural History of the University, of Kansas, Kansas City. 753 p.
- Duellman W, Trueb L. 1994. *Biology of amphibians*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press. 670 p.
- Pelcastre VL, O Flores-Villela. 1992. Lista de especies y localidades de recolecta de la herpetofauna de Veracruz, México. *Publ. Espec. Mus. Zool.* 4:25-95.
- Feinsinger P. 2003. *El Diseño de Estudios de Campo para la Conservación de la Biodiversidad*. Editorial FAN, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 242 p.
- Flores-Villela, O. 1993. Herpetofauna of México: Distribution and Endemism. In: Ramammorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J, editores. *Biological Diversity of Mexico: Origins and distributions*. Nueva York: Oxford University Press. p. 253-280.
- Flores-Villela O, Ochoa-Ochoa L, Moreno CE. 2005. Variación altitudinal y longitudinal de la riqueza de especies y la diversidad beta de la herpetofauna mexicana. En: Halffter G, Soberón J, Koleff P, Melic A, editores. *Sobre Diversidad Biológica: El significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma*. m3m- Monografías Tercer Milenio, vol. 4. SEA, Zaragoza: CONABIO, Grupo DIVERSITAS y CONACYT. IV. p. 143-152.
- Faivovich J, Haddad CFB, García PCA, Frost DR, Campbell JA, Wheeler WC. 2005. Systematics Review of the Frog Family Hylidae, with special reference to Hylinae: Phylogenetic Analysis and Taxonomic Revision. Nueva York: *Bulletin of the American Museum of Natural History*. No. 294:240 p.
- Frost DR, Grant T, Faivovich J, Bain RH, Haas A, Haddad CFB, de Sá RO, Channing A, Wilkinson M, Donnellan SC, Raxworthy CJ, Campbell JA, Blotto BL, Moller P, Drenes RC, Nussbaum RA, Lynch JD, Green DM, Wheeler WC. 2006. The Amphibian Tree of Life. Nueva York: *Bulletin of the American Museum of Natural History*. No. 297:370 p.
- IUCN. 2006. Global Amphibian Assessment. <www.globalamphibians.org> (consulta: marzo 26, 2007.)
- Halffter G. 1998. A Strategy for Measuring Landscape Biodiversity. *Biology International*, vol. 36:3-17.
- Hammer O, Harper DAT, Ryan PD. 2006. Past-Paleontological Estimators. Versión 1.42. <http://folk.uio.no/ohammer/past > (consulta: febrero 13, 2006.)
- Integrated Taxonomic Information System (ITIS). 2006. <http://www.itis.gov> (consulta: enero 9, 2007.)
- Lynch JD. 2000. The relationships of an ensemble of Guatemalan and Mexican frogs (Eleutherodactylus: Leptodactylidae: Amphibia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 24(90):129-156.
- Magurran A. 1988. *Ecological Biodiversity and its Measurement*. First Edition. Nueva York: Princeton University Press. 179 p.
- Moguel P, Toledo MV. 1999. Biodiversity in traditional coffee systems of México. *Conservation Biology*. vol. 13:11-21.
- Moreno C E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza: M&T-Manuales y Tesis SEA. 1:84 p.
- Murrieta-Galindo R. 2007. Diversidad de anfibios en cafetales en la zona centro del estado de Veracruz, México. Tesis de Maestría en Manejo de Fauna Silvestre. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa. 76 p.
- Nestel D. 1995. Coffee in Mexico: international market, agricultural landscape and ecology. *Ecological Economics* 15:165-178.

- Perfecto I, Armbrrecht I. 2003. The coffee agrosystem in the neotropics: Combining ecological and economics goals. In: Vandermeer J, editor. *Tropical Agrosystems*. Washington, DC. CRC Press. p. 159-194.
- Pimentel D, Stachow U, Takacs D, Brubaker H, Dumas A, Meany J, O'Neil J, Onsi D, Corzilius D. 1992. Conserving biological biodiversity in agricultural/forestry systems. *Bioscience* 42:354-362.
- Pineda EA, Halffter G. 2004. Species diversity and habitat fragmentation: frogs in a tropical montane landscape in México. *Biological Conservation* 117:499-508.
- Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J. 1993. *Biological Diversity of Mexico: Origins and distributions*. Nueva York: Oxford University Press. 812 p.
- Stebins RC, Cohen NW. 1995. *A Natural History of Amphibians*. New Jersey: Princeton University Press. 316 p.
- Sánchez O, Vega E, Peters E, Monroy-Vilchis O, editores. 2003. *Conservación de Ecosistemas Templados de Montaña en México*. México, DF: S y G Editores S. A. de C. V. 315 p.
- Saunders AD, Hobbs RJ, Margules CR. 1990. Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review. *Conservation Biology* 5(1):18-32.
- Smith HM, Smith RB. 1976. *Synopsis of the Herpetofauna of Mexico*. Vol. IV. Source Analysis and index for Mexican Amphibians. North Bennigton, Vermont: John Johnson. 260 p.
- Soto EM, Gómez M. 1990. *Atlas climático de Xalapa*. Xalapa: Instituto de Ecología A. C. 29 p.
- Solis-Montero L, Flores-Palacios A, Cruz-Angón A. 2005. Shade-coffee plantations as refuges of tropical Wild Orchids in Central Veracruz, México. *Conservation Biology* 13(3):908-916.
- Williams-Linera G, Manson RH, Isunza-Vera E. 2002. *La Fragmentación del Bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México*. Madera y Bosque. 8:73-89.
- Williams-Linera G, López-Gómez AM, Muñoz-Castro MA. 2005. Complementariedad y patrones de anidamiento de especies de árboles en el paisaje de bosque de niebla del centro de Veracruz (México). In: Halffter G, Soberón J, Koleff P, Melic A, editores. *Sobre Diversidad Biológica: El significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma*. Zaragoza: m3m- Monografías Tercer Milenio, vol. 4. SEA, CONABIO, Grupo DIVERSITAS y CONACYT. IV + 53-164.
- Young BE, Stuart SN, Chanson JS, Cox NA, Boucher TM. 2004. *Disappearing Jewels: The Status of New World*. Arlington Virginia: Amphibians Nature Serve, 55 p.

CLASE AMPHIBIA

ORDEN CAUDATA

Familia Plethodontidae

*Pr	<i>Bolitoglossa platydactyla</i> (Gray, 1831)	Tlalconete manchado
*Pr	<i>Chiropterotriton chiropterus</i> (Cope, 1863)	Salamandra de pie plano
*Pr	<i>Chiropterotriton lavae</i> (Taylor, 1942)	Salamandra pigmea
*A	<i>Parvimolge townsendi</i> (Dunn, 1922)	Salamandra enana
*A	<i>Pseudoeurycea gigantea</i> (Gray, 1850)	Tlalconete roji-negro
*A	<i>Pseudoeurycea cephalica</i> (Cope, 1865)	Tlalconete
	<i>Pseudoeurycea gadovii</i> (Dunn, 1926)	Tlalconete
*A	<i>Pseudoeurycea leprosa</i> (Cope, 1869)	Tlalconete manchado
*Pr	<i>Pseudoeurycea nigromaculata</i> (Taylor, 1941)	Tlalconete negri-blanco
*Pr	<i>Thorius dubitus</i> Taylor, 1941	Salamandra pigmea de Aculzingo
*Pr	<i>Thorius pennatulus</i> Cope, 1869	Salamandra pigmea veracruzana
*Pr	<i>Thorius schmidti</i> Gehlbach, 1959	Salamandra pigmea
*Pr	<i>Thorius troglodytes</i> Taylor, 1941	Salamandra del pedregal

ORDEN ANURA

Familia Rhinophrynidae

Pr	<i>Rhinophrynus dorsalis</i> Duméril & Bribon, 1841.	Sapo borracho
----	--	---------------

Familia Brachycephalidae

	<i>Craugastor alfredi</i> (Boulenger, 1898)	Sapito de hojarasca
	<i>Craugastor berkenbuschii</i> (Peters, 1870)	Rana ladrona de Berkenbusch
*Pr	<i>Craugastor decoratus</i> Taylor, 1942	Sapito de hojarasca
	<i>Craugastor loki</i> (Shannon y Werler, 1955)	Sapito de hojarasca
	<i>Craugastor mexicanus</i> (Brocchi, 1877).	Sapito de hojarasca
	<i>Craugastor rhodopsis</i> (Cope, 1867).	Sapito de hojarasca
	<i>Craugastor pygmaeus</i> (Taylor, 1937)	Sapito de hojarasca
*Pr	<i>Craugastor spatulatus</i> Smith, 1939.	Sapito de hojarasca
	<i>Syrrophus verruculatus</i>	Sapito de hojarasca
	<i>Syrrophus cystignathoides</i> (Cope, 1877).	Sapito de hojarasca
	<i>Syrrophus nitidus</i> (Peters, 1869).	Sapito de hojarasca

Familia Leptodactylidae

	<i>Leptodactylus fragilis</i> (Brocchi, 1877)	Sapito de labios blancos
--	---	--------------------------

Familia Bufonidae

*Pr	<i>Ollotis cristatus</i> Wiegmann, 1833.	Sapo de cresta grande
	<i>Ollotis valliceps</i> Wiegmann, 1833.	Sapo del golfo
	<i>Chaunus marinus</i> Linnaeus, 1758.	Sapo gigante

Familia Hylidae

	<i>Agalychnis moreletii</i> (Duméril, 1853).	Escuerzo
	<i>Anotheca spinosa</i> (Steindachner, 1864).	Rana coronada
	<i>Tlalochyla picta</i> (Günter, 1901)	Ranita pintada
*Pr	<i>Plectrohyla arborescendens</i> Taylor, 1939.	Ranita de las bromelias
*Pr	<i>Bromelohyla dendroscarta</i> Taylor, 1940.	Rana de las bromelias
	<i>Hyla eximia</i> Baird, 1854.	Ranita de montaña
*Pr	<i>Ecnomiohyla miotypanum</i> Cope, 1863.	Calates arborícola

*A	<i>Megastomathohyla mixomaculata</i> Taylor, 1950.	Rana arborícola jaspeada
*A	<i>Megastomathohyla nubicola</i> (Duellman, 1964).	Ranita del bosque mesófilo
*A	<i>Charadrahyla taeniopus</i> (Günther, 1901).	Calates jarocho
	<i>Smilisca baudini</i> (Duméril & Briçon, 1841).	Rana arborícola mexicana
	<i>Scinax staufferi</i> (Cope, 1865)	Ranita amarilla
Familia Microhylidae		
	<i>Hypopachus variolosus</i> (Cope 1866)	Rana oveja
Familia Centrolenidae		
	<i>Hyalinobatrachium fleischmanni</i> (Boettger 1893).	Ranita de cristal
Familia Ranidae		
	<i>Lithobates berlandieri</i> Baird 1854.	Rana leopardo de montaña
Familia Microhylidae		
*Pr	<i>Gastrophryne usta</i> (Cope 1866).	Ranita de hojarasca
CLASE REPTILIA		
ORDEN TESTUDINES		
Familia Kinosternidae		
*Pr	<i>Kinosternon herrerae</i> Stejneger, 1925.	Garlapago
ORDEN SQUAMATA		
Suborden Sauria		
Familia Gekkonidae		
I	<i>Hemidactylus mabouia</i> (Moreau de Jonnés, 1818).	Cuija
Familia Phrynosomatidae		
	<i>Sceloporus formosus</i> Wiegmann, 1834.	Escamoso esmeralda
*Pr	<i>Sceloporus grammicus</i> Wiegmann, 1828.	Lagartija común
	<i>Sceloporus mucronatus</i> Cope, 1885.	Escamoso de collar
*Pr	<i>Sceloporus salvini</i> Günther, 1890.	Escamoso verde de collar
	<i>Sceloporus variabilis</i> Wiegmann, 1834.	Lagartija de vientre rosado
Familia Polychridae		
*Pr	<i>Norops barkeri</i> Schmidt, 1939.	Chipojo arroyero
	<i>Norops sericeus</i>	Chipojo común
	<i>Norops laeviventris</i> (Wiegmann, 1834).	Chipojo blanco
	<i>Norops lemuringus</i> Cope, 1861.	Chipojo lemuringo
	<i>Norops schiedii</i> (Wiegmann, 1834).	Chipojo
	<i>Norops tropidonotus</i> Peters, 1863.	Chipojo escamoso
Familia Scincidae		
	<i>Eumeces brevivirostris</i> (Günther, 1860).	Lincer chato
	<i>Eumeces sumichrasti</i> (Cope, 1866).	Lincer listado
*Pr	<i>Scincella gemmingeri</i> (Cope, 1864).	Lincer de bosque
	<i>Sphenomorphus cherriei</i> (Cope, 1893).	Lincer pardo

Familia Teiidae

<i>Cnemidophorus gularis</i> Baird & Girard, 1852	Huico
<i>Cnemidophorus guttatus</i> Wiegman 1834	Huico picuiliche

Familia Anguillidae

*Pr <i>Abronia gramminea</i> (Cope, 1864).	Escorpioncillo verde
*Pr <i>Celestus enneagrammus</i> (Cope, 1860).	Celesto huasteco

Familia Xenosauridae

*Pr <i>Xenosaurus grandis</i> (Gray, 1856).	Cantil de montaña
---	-------------------

Suborden Serpentes

Familia Typhlopidae

<i>Typhlops tenuis</i> Salvin, 1860.	Culebrilla ciega
--------------------------------------	------------------

Familia Colubridae

Subfamilia Colubrinae

*Pr <i>Chersodromus liebmanni</i> Reinhardt, 1860.	Corredora de tierra
<i>Coniophanes fissidens</i> (Günther, 1858).	Culebra de panza amarilla
<i>Drymarchon corais</i> (Boie, 1827).	Tilcuate o arroyera negra
<i>Drymobius margaritiferus</i> (Schlegel, 1837).	Culebra petatilla
*Pr <i>Geophis blanchardi</i> Taylor & Smith, 1939.	Culebra minadora
*Pr <i>Geophis dubius</i> (Peters, 1861).	Culebra minadora
*Pr <i>Geophis mutitorques</i> (Cope, 1885).	Culebra minadora de tierras altas
<i>Geophis semidoliatus</i> (Duméril, Bribon & Duméril, 1854).	Minadora coralilla
<i>Imantodes cenchoa</i> (Linnaeus, 1758).	Cordelilla manchada
*A <i>Lampropeltis triangulum</i> (Lacépède, 1788).	Falso coral
<i>Leptodeira annulata</i> (Linnaeus, 1758).	Culebra escombrera
<i>Ninia diademata</i> Baird & Girard, 1853.	Dormilona de collar
<i>Ninia sebae</i> (Duméril, Bribon & Duméril, 1854).	Dormilona coralilla
<i>Pliocercus elapoides</i> Cope, 1860.	Falso coral
*Pr <i>Rhadinaea cuneata</i> Myers, 1974.	Hojarasquera veracruzana
<i>Rhadinaea decorata</i> (Günther, 1858).	Culebra hojarasquera
*Pr <i>Rhadinaea forbesi</i> Smith, 1942.	Hojarasquera de forves
*Pr <i>Rhadinaea schistosa</i> (Smith, 1941).	Hojarasquera de collar roto
*Pr <i>Salvadora bairdi</i> Jan, 1860.	Culebra chata
<i>Scaphiodontophis annulatus</i> Taylor y Smith, 1943.	Culebra añadida
<i>Sibon sartorii</i> (Cope, 1863).	Caracolera terrestre
<i>Spilotes pullatus</i> (Linnaeus, 1758).	Petlacoba o voladora
*Pr <i>Tantilla miniata</i> Cope, 1863.	Culebrilla cienpies
<i>Tantilla schistosa</i> (Bocourt, 1883).	Culebrilla roja de tierra
<i>Toluca lineata</i> Kennicott, 1859.	Toluqueña rayada
<i>Trimorphodon tau</i> Cope, 1869.	Falsa nauyaca

Subfamilia Natricinae

<i>Storeria dekayi</i> (Holbrook, 1842).	Culebra parda
<i>Thamnophis chrysocephalus</i> (Cope, 1885).	Culebra de agua cabeza dorada
<i>Thamnophis eques</i> (Reuss, 1834).	Culebra de agua mexicana

APÉNDICE 10.1. ANFIBIOS Y REPTILES REGISTRADOS EN EL BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA DEL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO (CONTINUACIÓN)

- | | | |
|----|---|----------------------------|
| *A | <i>Thamnophis proximus</i> (Say, 1823). | Culebra de agua |
| | <i>Thamnophis scalaris</i> Cope, 1861. | Culebra de agua escalonada |
| *A | <i>Thamnophis sumichrasti</i> (Cope, 1866). | Culebra de agua |

Familia Elapidae

- | | | |
|-----|---|--------------------|
| *Pr | <i>Micrurus diastema</i> (Duméril, Bribon & Duméril, 1854). | Coralillo variable |
|-----|---|--------------------|

Familia Viperidae

- | | | |
|-----|---|----------------|
| *A | <i>Crotalus intermedius</i> Troschel, 1865. | Víbora fina |
| *Pr | <i>Ophryacus undulatus</i> (Jan, 1859). | Torito |
| *A | <i>Atropoides nummifer</i> Rüppell, 1845. | Mano de metate |
-

* = Especie endémica, A = Especie amenazada, P = Especie en peligro de extinción, Pr = Especie con protección especial (SEMARNAT 2001). I = Especie introducida. El arreglo taxonómico hasta nivel de familia en los anfibios está basado en Lynch (2000), Faivovich *et al.* (2005), Frost *et al.* (2006) e IUCN *et al.* (2006).

Aves

CÉSAR TEJEDA-CRUZ Y CALEB E. GORDON

Resumen

Los agroecosistemas complejos, incluyendo plantaciones de café de sombra son críticos para la conservación de la biodiversidad. Nuestro objetivo fue analizar cambios en la diversidad y composición de especies de aves en un gradiente cafetalero en un paisaje transformado. El gradiente, de menor a mayor perturbación, comprendió bosque de montaña, café bajo sombra nativa (bajo monte), café de sombra diversa, café simplificado y café de sol. Se muestrearon 200 puntos en los que se registraron las especies de aves. El bosque (82), y los cafetales de sombra [bajo monte (87), café diverso (80), y café simplificado (79)], tuvieron una riqueza de aves similar. El café de sol (25) tuvo menos especies. El bosque tuvo más especies especialistas de bosque y con alta sensibilidad a la perturbación. Las especies generalistas y con baja sensibilidad incrementaron con mayor perturbación. La similitud entre sitios fue baja, y la complementareidad entre hábitat fue alta, particularmente en los extremos del gradiente (bosque y café de sol). Concluimos que los cafetales de sombra no son equivalentes al bosque, pero son importantes reservorios de una proporción importante de la diversidad de aves. La heterogeneidad de los sitios sugiere qué acciones de conservación deben ser tomadas a nivel paisaje.

Abstract

Complex agroecosystems, like shade coffee plantations, are critical for biodiversity conservation. We aimed to analyse changes in bird species diversity and composition along a coffee management gradient in a highly disturbed landscape. The gradient, from less to more intensively disturbed, included mountain forest, coffee under native shade (bajo monte), diversified shade coffee, simplified coffee and sun coffee. Bird species were surveyed at 200 sampling points. Forest (82), and shade coffee plantations, [bajo monte (87), diversified coffee (80), and simplified coffee (79)], had similar species richness. Sun coffee (25) had fewer species. Forest had more forest specialists and high sensitivity species. Generalists and low sensitivity species increased with disturbance. Similarity among sites was low, and complementarity between habitats was high, particularly on the gradient extremes (forest and sun coffee). We concluded that while shade coffee is not equivalent to forest, it is an important refuge for a significant proportion of forest bird diversity. Heterogeneity among sites suggests conservation decisions must be made at the landscape scale.

INTRODUCCIÓN

El café de sombra es probablemente el ejemplo arquetípico de una actividad productiva que a la vez es benéfica para la conservación de la biodiversidad. Durante las dos últimas décadas, la producción de café ha sido señalada como una práctica agrícola compatible con la conservación del bosque y su fauna y flora asociada (Perfecto *et al.* 1996, Moguel y Toledo 1999, Perfecto y Armbrrecht 2002). Se ha reportado ampliamente la importancia que el café de sombra tiene para las aves, tanto migratorias como residentes (Aguilar-Ortiz 1982, Greenberg, *et al.* 1997a, 1997b, Tejeda-Cruz y Sutherland 2004, Komar 2006, Raman 2006, Gordon *et al.* 2007). Se ha sugerido además que las plantaciones de café de sombra pueden jugar un papel importante como zonas de amortiguamiento alrededor de áreas protegidas y parches de bosque (Moguel y Toledo 1999, Dietsch *et al.* 2004, Tejeda-Cruz y Sutherland 2004, Raman 2006) y que pueden mejorar la calidad de la matriz de paisaje (Perfecto y Vandermeer 2002, Pineda y Halfiter 2004, Pineda *et al.* 2005).

Los beneficios del café de sombra, sin embargo, pueden ser limitados porque muchas de las especies asociadas al bosque son menos abundantes o no están presentes en las plantaciones de café de sombra (Roberts *et al.* 2000a, Rappole *et al.* 2003, Tejeda-Cruz y Sutherland 2004, Guevara 2005, Raman 2006, Gordon *et al.* 2007). El valor para la conservación del café de sombra depende de varios factores como la distancia entre el bosque y las plantaciones de café (Parrish y Petit 1996, Roberts *et al.* 2000a, b, Perfecto y Vandermeer 2002), la complejidad estructural del agrosistema (Gallina *et al.* 1996, Greenberg *et al.* 1997b, Calvo y Blake 1998, Raman 2006, Gordon *et al.* 2007), la disponibilidad de alimentos (Johnson y Sherry 2001), y la composición de las especies de sombra (Raman 2006). Finalmente, las respuestas pueden variar a diferentes escalas espaciales en los paisajes cafetaleros (Perfecto *et al.* 2003, Pineda *et al.* 2005).

El valor regional del paisaje cafetalero puede variar dependiendo de las condiciones locales. En un sitio bien conservado, de frontera agrícola, los efectos de la transformación de bosques a cafetal de sombra pueden ser aparentemente muy severos, por el alto contraste en la composición de especies entre grandes extensiones de bosque en buen estado de conservación y el relativamente simplificado café de sombra. En un paisaje transformado, como el centro de Veracruz, en

donde los remanentes de bosque son pequeños y han perdido parte de su diversidad original, el papel de la matriz cafetalera cobra mayor relevancia.

Los objetivos de este estudio fueron los siguientes: 1) Determinar la diversidad y composición de especies de aves en el gradiente de manejo bosque-café de sol en el centro de Veracruz; 2) Analizar los efectos del gradiente de manejo sobre las especies con diferente grado de afinidad al bosque y diferente grado de sensibilidad a la perturbación; y 3) Analizar la similitud y complementariedad de la avifauna entre sitios y los diferentes hábitat.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se seleccionaron 22 fincas en la región cafetalera del centro de Veracruz (Cuadro 11.1), las cuales fueron clasificadas con base en modificaciones de la clasificación descrita en Moguel y Toledo (1999) y los valores del eje 1 del análisis de componentes principales de la estructura biofísica de los cafetales reportado en el Capítulo 2. Nuestra clasificación incluye café bajo monte (MIR y VBM) que tiene una sombra conformada por árboles del bosque original, pero difiere de la categoría “rústico” de Moguel y Toledo por tener un manejo tecnificado que incluye el uso de fertilizantes comerciales (Gordon *et al.* 2007). Las categorías restantes son café diverso (AUR, MOR, ZOP, AXO, ONZ, ALU, ORD, OSE, PAN, ARM) que incluye varias de las fincas catalogadas en otros capítulos como policultivo diverso; café simplificado (VCS, VSE, MTZ, ESM), que incluye los policultivos sencillos y los cafetales con sombra dominada por *Inga* spp; y finalmente café de sol. Se muestrearon además 5 sitios de bosque (VBO, MAS, CAÑ, PAR, XOL).

Para establecer la diversidad, distribución y abundancia relativa de especies de aves se realizaron censos utilizando puntos de conteo de radio fijo con duración de 10 minutos (Greenberg *et al.* 1997b, Sutherland, *et al.*, 2004). Se registraron todos los individuos detectados visual y/o auditivamente dentro de un radio de 25 m. Todos los censos se hicieron desde el amanecer, hasta las 10:00 am. Se realizaron censos del 2001 al 2005, aunque el número de veces y años que se muestreó cada punto fue variable (Cuadro 11.1), para controlar esta variación se usó para los análisis el promedio de individuos en los censos de cada punto. Las diferencias en el número de muestras por tipo de hábitat que se

Cuadro 11.1. Esfuerzo de muestreo y sitios de muestreo por tipo de vegetación durante el periodo de estudio. VBO = De la Vequia – Bosque, MAS = La Mascota, CAÑ = Las Cañadas, PAR = Parque Ecológico, XOL = Xolostla, VBM = De la Vequia - Bajo Monte, MIR = El Mirador, AUR = El Cerrito, MOR = El Plan, ZOP = El Zopilote, AXO = La Loma, ONZ = La Onza, ALU = Martín Aluja, ORD = Orduña con epífitas, OSE = Orduña sin epífitas, PAN = Panamacani, ARM = Virginia Armand, VCS = De la Vequia - Café Estándar, VSE = De la Vequia - Sombra Especializada, MTZ = Jorge Martínez, ESM = La Esmeralda, SOL = Teocelo - Café de Sol.

Sitio / año	2001	2002	2003	2004	2005	Total puntos
Bosque						
VBO	8	8	8	—	—	8
MAS	—	—	—	—	10	10
CAÑ	—	—	—	10	10	10
PAR	—	—	10	10	—	10
XOL	10	10	—	—	—	10
Bajo monte						
VBM	10	10	10	10	10	10
MIR	12	12	12	12	12	12
Café diverso						
AUR	—	—	—	5	5	5
MOR	—	—	—	5	5	5
ZOP	10	10	10	10	10	10
AXO	—	—	—	3	3	3
ONZ	10	10	10	10	—	10
ALU	5	5	5	5	5	5
ORD	10	10	10	10	—	10
OSE	10	10	—	—	—	10
PAN	10	10	10	10	—	10
ARM	10	10	10	10	10	10
Café simplificado						
VCS	10	10	10	10	10	10
VSE	12	12	10	10	10	12
MTZ	10	10	10	10	10	10
ESM	—	—	10	10	10	10
Café de sol						
SOL	10	10	10	10	10	10
Total anual	147	147	145	151	130	200

observa en el Cuadro 11.1, es debido a un desbalance natural en los tratamientos (p. ej. hay pocas muestras de café de sol y de café bajo monte porque la ocurrencia de estos tratamientos es muy localizada). Las especies de aves registradas se clasificaron por su preferencia de hábitat de acuerdo con la información de Parker *et al.* (1996) y Howell y Webb (1995) en especialistas de bosque primario, generalistas de sistemas forestales (especies que utilizan sistemas forestales secundarios y bordes de bosque) y especies de áreas abiertas. También se clasificaron las especies de aves de acuerdo con los criterios de sensibilidad a la perturbación propuestos por Parker *et al.* (1996) en especies con alta, media y baja sensibilidad a la perturbación.

Para determinar las diferencias entre riqueza de especies se hizo un análisis de rarefacción basado en el sitio con menor número de individuos (café de sol 365 ind) (Colwell 2006). Para estimar lo completo del inventario avifaunístico se utilizaron los estimadores de diversidad de Chao 2, ICE y bootstrap (Magurran 2004, Colwell 2006). Para estudiar las diferencias de la abundancia de especies agrupadas por afinidad de hábitat y sensibilidad, se aplicaron ANDEVAs no-paramétricas de Kruskal-Wallis, seguido por pruebas *post hoc* de comparación múltiple de Dunn (KCS 2006).

La similitud entre sitios fue medida por medio del número de especies compartidas y el índice de similitud de Jaccard (Magurran 2004):

$$ISJ = c/a + b - c$$

donde

a = especies en el sitio a ;

b = especies en el sitio b y

c = especies compartidas

Después se realizó una matriz de similitud de Bray-Curtis para agrupar los sitios por su composición avi-faunística, la cual se utilizó para hacer una ordenación no métrica multidimensional (MDS) para presentar las similitudes entre sitios por medio de distancias en dos dimensiones (Clarke y Warwick 2001).

La complementariedad entre los diferentes hábitat (diversidad Beta) se midió mediante la siguiente fórmula:

$$C = [(S_j + S_k) - 2V_{jk} / (S_j + S_k) - V_{jk}] * 100$$

Donde S_j y S_k es el número de especies en los sitios j y k , y V_{jk} es el número de especies en común en los dos sitios. La complementariedad varía de 0% cuando las dos listas de especies son idénticas hasta 100% cuando son completamente distintas (Colwell y Coddington 1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registraron un total de 140 especies de aves para los 22 sitios estudiados (17 fincas y 5 parches de bosque). Las curvas de acumulación de especies no muestran una asíntota para ninguno de los hábitat, lo que indica que el inventario de aves está aún incompleto (Figura 11.1a). De acuerdo con los estimadores ICE, CHAO2 y bootstrap, se registró entre el 77.5 y 88% del total de especies para todos los sitios agrupados; aunque cercano al nivel satisfactorio de completación de 90% sugerido por Moreno y Halffter (2000). Los sistemas forestales tuvieron una riqueza similar: bajo monte (87), bosque (82), café diverso (80) y café simplificado (79); mientras que el sistema a sol tuvo únicamente 25 especies. Esta diferencia es estadísticamente significativa de acuerdo con los resultados del análisis de rarefacción, escalado al número de individuos en el hábitat con menos muestras (café de sol – 365 ind) (Figura 11.1b).

Se observó una disminución en la abundancia de especies especialistas de bosque a lo largo de gradiente cafetalero ($K = 132.5$, $df = 4$, $P = < 0.0001$). Las di-

ferencias son significativas entre los grupos a lo largo del gradiente, excepto entre bosque y bajo monte, que se agrupan de acuerdo con los resultados de una comparación pareada múltiple usando el procedimiento de Dunn (KCS 2006). El mismo patrón se encontró en las especies con sensibilidad alta a la perturbación ($K = 21.1$, $df = 4$, $P = < 0.0001$), si bien en este caso el bosque se separa del grupo formado por el resto de los hábitat; y para las especies con sensibilidad media ($K = 120.9$, $df = 4$, $P = < 0.0001$), se formaron dos grupos: bosque y bajo monte, y el resto de los cafetales. La abundancia de especies generalistas forestales, siguieron este mismo patrón, pero sólo en los cafetales de sombra, siendo menos abundantes tanto en el bosque como en el café de sol ($K = 83$, $df = 4$, $P = < 0.0001$). Finalmente, las especies con afinidad por las zonas abiertas ($K = 121.1$, $df = 4$, $P = < 0.0001$) y las especies con sensibilidad baja a la perturbación ($K = 46.8$, $df = 4$, $P = < 0.0001$) fueron más abundantes en café de sol, decreciendo a lo largo del gradiente hasta llegar a su abundancia mínima en el bosque (Figuras 11.2a y 11.2b). Este patrón sugiere un recambio de especies a lo largo del gradiente; especies con afinidad al bosque disminuyen al simplificarse el ecosistema y son sustituidas por especies generalistas en los sistemas simplificados. En particular, las especies con afinidad al bosque disminuyeron drásticamente en café diverso y café simplificado, hasta casi desaparecer en café a sol. Mientras que las especies con alta sensibilidad a la perturbación disminuyeron drásticamente fuera de los fragmentos de bosque. Este patrón sugiere que al café bajo monte es más parecido al bosque que a los otros cafetales en términos de especies forestales en general, pero no es un hábitat adecuado para especies con alta sensibilidad a la perturbación.

En general encontramos que la similitud entre la avifauna de los sitios es baja (Cuadro 11.2). Siguiendo el criterio de Sánchez y López (1988) de considerar que dos faunas son similares si su índice de similitud es de al menos 66.6%, tenemos que ninguno de los sitios estudiados tiene similitud en su avifauna registrada, ya que el valor más alto fue de 0.64 (ARM vs. ZOP). Esto sugiere que, en cuanto a la avifauna, los sitios estudiados son heterogéneos. Los resultados considerando a la diversidad beta obtenida por el índice de complementariedad (Cuadro 11.3) apoyan esta idea de heterogeneidad. La complementariedad entre hábitat es alta, sobre todo entre bosque y café de sol, ya que comparten únicamente 10 especies de las 140 espe-

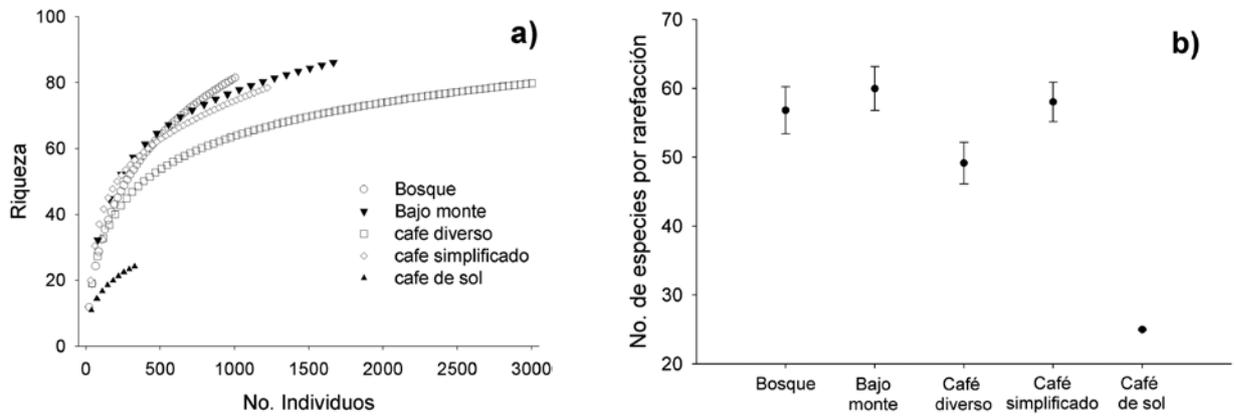


Figura 11.1. a) Curvas de acumulación de especies de aves para cada hábitat y (b) comparación entre hábitat del número de especies estimado por rarefacción en base al hábitat con menor número de individuos (café de sol – 365 ind).

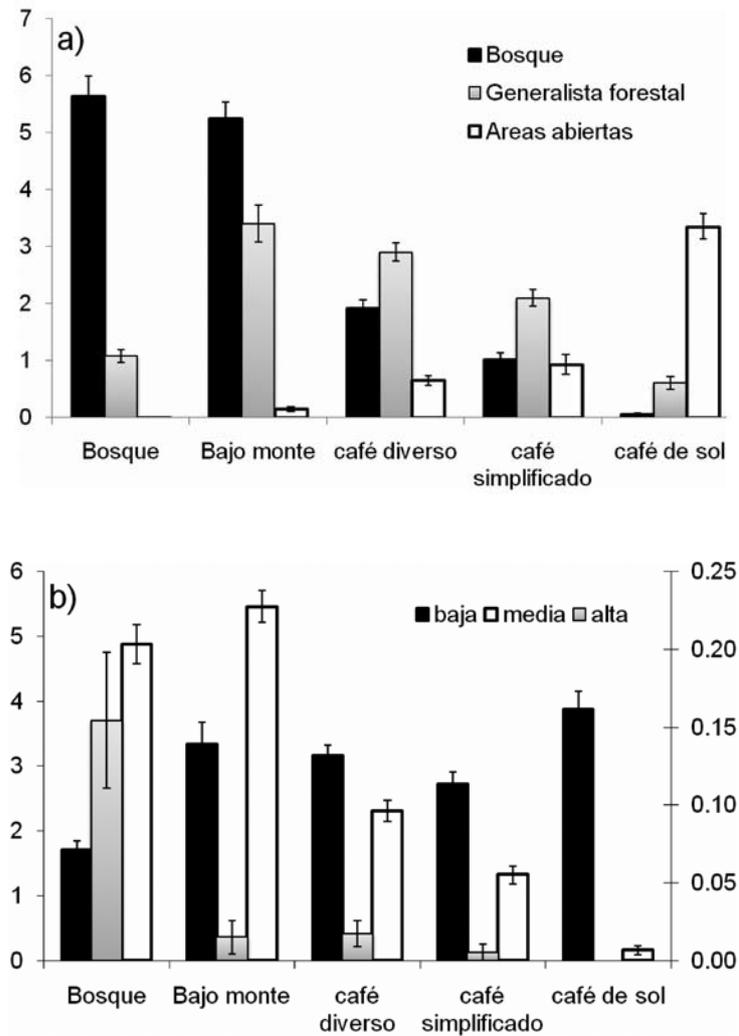


Figura 11.2. Número promedio de individuos por punto según su preferencia de hábitat (a) y su sensibilidad a la perturbación (b); los datos de alta sensibilidad a la perturbación están asociados al eje y (derecha).

Cuadro 11.2. Número de especies compartidas en el triángulo inferior y el índice de Similitud de Jaccard en el triángulo superior para los sitios estudiados en el centro de Veracruz, México. En negritas los más parecidos. Véanse claves de sitios en el Cuadro 11.1.

	PAR	CAÑ	MAS	VBO	XOL	MIR	VBM	ORD	ONZ	OSE	ALU	PAN	ARM	ZOP	AUR	MOR	AXO	ESM	VCS	VSE	MTZ	SOL
PAR	0.33	0.39	0.29	0.43	0.33	0.28	0.34	0.28	0.20	0.28	0.24	0.32	0.31	0.27	0.37	0.21	0.35	0.25	0.35	0.26	0.18	
CAÑ		0.40	0.29	0.38	0.30	0.27	0.21	0.16	0.13	0.16	0.16	0.20	0.23	0.22	0.29	0.19	0.20	0.18	0.20	0.17	0.12	
MAS			0.30	0.42	0.32	0.28	0.24	0.18	0.18	0.20	0.17	0.23	0.22	0.28	0.30	0.22	0.18	0.20	0.23	0.11	0.12	
VBO				0.28	0.44	0.44	0.35	0.36	0.26	0.30	0.30	0.35	0.30	0.32	0.28	0.22	0.28	0.29	0.29	0.21	0.10	
XOL					0.26	0.26	0.29	0.25	0.21	0.20	0.23	0.25	0.24	0.23	0.27	0.17	0.27	0.21	0.24	0.17	0.12	
MIR						0.60	0.39	0.36	0.17	0.32	0.34	0.41	0.44	0.30	0.31	0.23	0.39	0.37	0.43	0.25	0.16	
VBM							0.45	0.49	0.24	0.41	0.41	0.53	0.49	0.32	0.29	0.22	0.41	0.39	0.46	0.31	0.16	
ORD								0.51	0.47	0.51	0.56	0.53	0.53	0.46	0.42	0.42	0.52	0.44	0.49	0.40	0.26	
ONZ									0.35	0.55	0.60	0.46	0.54	0.44	0.43	0.30	0.53	0.53	0.47	0.41	0.20	
OSE										0.40	0.40	0.35	0.33	0.32	0.34	0.29	0.30	0.31	0.29	0.24	0.18	
ALU									16	16	0.61	0.51	0.51	0.46	0.42	0.35	0.39	0.45	0.45	0.40	0.22	
PAN									17	28	28	0.50	0.56	0.56	0.38	0.38	0.49	0.47	0.56	0.43	0.28	
ARM									17	27	28	0.40	0.64	0.40	0.37	0.33	0.52	0.44	0.51	0.41	0.23	
ZOP									17	26	31	36	36	0.44	0.43	0.35	0.58	0.50	0.56	0.50	0.29	
AUR									12	22	22	21	23	23	0.59	0.47	0.45	0.48	0.40	0.34	0.23	
MOR									12	18	18	19	22	20	20	0.364	0.467	0.412	0.393	0.326	0.275	
AXO									9	14	16	16	17	15	12	0.34	0.30	0.30	0.30	0.25	0.22	
ESM									9	14	16	16	17	15	12	0.34	0.30	0.30	0.30	0.25	0.22	
VCS									14	21	26	29	32	21	21	15	0.43	0.43	0.46	0.45	0.20	
VSE									16	25	27	28	31	24	21	15	26	26	0.57	0.38	0.27	
MTZ									18	29	35	35	38	25	24	18	31	38	0.39	0.31		
SOL									10	19	21	22	26	15	14	10	22	21	25	0.27		
									7	11	14	13	16	10	11	8	11	15	20			

cies registradas. En particular, el café de sol muestra muchas especies que no ocurren en otros hábitat. La complementariedad es alta también entre los sistemas forestales, aunque se muestra una tendencia a ser más parecido al bosque conforme el sistema de manejo de cafetal tiene una sombra y una estructura más diversa. La Figura 11.3 ilustra gráficamente este patrón, allí se observa que las diferencias entre cafetales se dan sobre la primera dimensión del escalamiento multidimensional no-métrico (eje x), mientras que las diferencias entre los sistemas forestales (cafetales de sombra y bosque) y el café de sol, se dan sobre la segunda dimensión (eje y). La dispersión de los sistemas forestales sobre el eje y (principalmente el bosque) explica la baja

similitud entre sitios de muestreo. Este patrón puede estar relacionado con la mayor diversidad de epífitas vasculares en fragmentos de bosque (Capítulo 5), ya que las epífitas constituyen un microhábitat, incrementan la diversidad estructural del bosque y pueden proveer a las aves con material para nidos, sitios de anidación y diversos recursos alimenticios (Cruz-Angón y Greenberg 2005).

Los resultados sugieren que hay un recambio de especies a lo largo del gradiente de manejo. La Figura 11.3 muestra de manera gráfica estas diferencias en la avifauna entre los puntos de muestreo agrupados por tipo de hábitat. Especies con afinidad al bosque disminuyen y desaparecen al aumentar la tecnificación, y

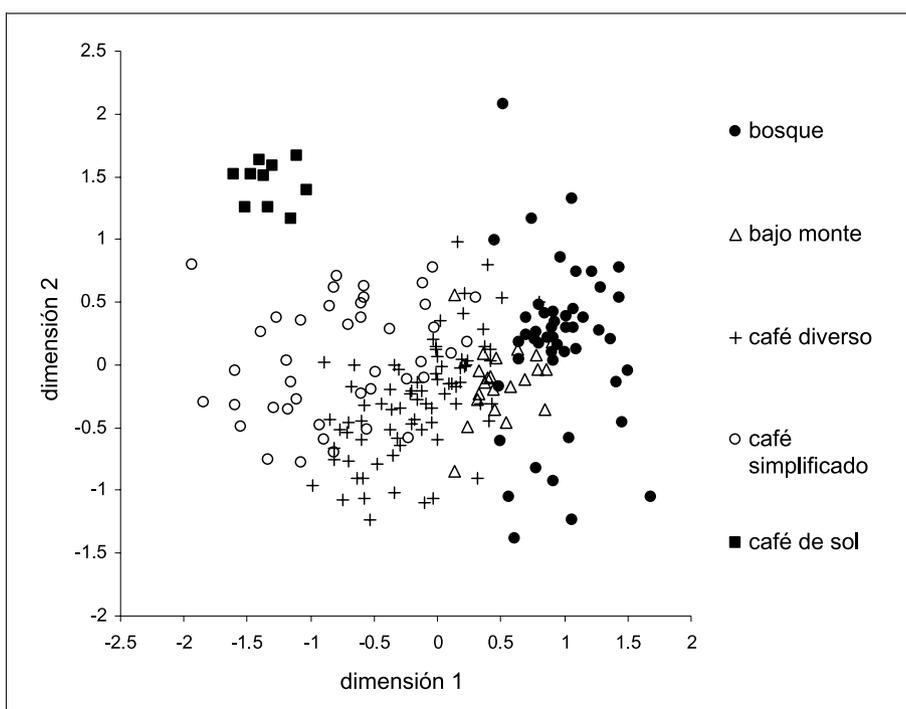


Figura 11.3. Diferencias por tipo de vegetación mostrado por un escalamiento multidimensional no métrico de las abundancias de las especies por punto de muestreo.

Cuadro 11.3. Diversidad beta o complementariedad de las riquezas de especies de aves (triángulo superior) y número de especies compartidas en los hábitat definidos para el centro de Veracruz, México.

	Bosque	Bajo monte	Café diverso	Café simplificado	Café de sol
Bosque		47.7	63.9	62.4	89.7
Bajo monte	58		39.4	46.3	82.1
Café diverso	43	63		37.8	76.5
Café simplificado	44	58	61		76.2
Café de sol	10	17	20	20	

son sustituidas por especies generalistas en los sistemas simplificados. En el extremo de tecnificación (café de sol) hay un recambio más pronunciado de especies lo que en términos de complementariedad le da un valor de diversidad beta muy alto. Sin embargo, la superficie de café de sol es muy pequeña en el área de estudio, y aparentemente no hay una tendencia regional a incrementar su superficie, lo que disminuye la importancia de su contribución a la diversidad beta. Los resultados indican que el bosque posee una avifauna sensible a la perturbación, que ocupa marginalmente los ecosistemas cafetaleros de sombra. Inclusive el café bajo monte (el más diverso en sombra y más parecido estructuralmente al bosque), muestra una disminución de estas especies (Apéndice 11.1). Aún en paisajes altamente antrópicos como el centro de Veracruz, en donde los remanentes de bosque son pequeños y relativamente perturbados (Williams-Linera 2002), estos manchones han perdido también algunos elementos de la avifauna característica de bosques de montaña (obs. pers), no obstante aún retienen algunos de los elementos avifaunísticos de bosques en buen estado de conservación, y en particular algunas de las especies que son sensibles a la perturbación. La baja similitud entre los manchones de bosques nos sugiere también que una estrategia de conservación efectiva debe considerar la protección del mayor número posible de parches de bosque.

RECOMENDACIONES

Los resultados sugieren que un manejo en los cafetales que resulte en un aumento en la diversidad de sombra y complejidad estructural nos puede llevar a un sistema forestal con mayor similitud a los bosques locales en términos de avifauna. En cuanto a la complementariedad, los resultados nos podrían indicar que es importante que se conserven todos los cafetales con sus distintos sistemas de manejo, en particular el sistema bajo monte pues es el más parecido al bosque natural. La importancia complementaria del café de sol es solamente el reflejo de que fue el único sistema perturbado que se estudió y muestra una avifauna típica de zonas abiertas y pastizales, con lo que su valor para complementar la diversidad beta es relativamente bajo en términos de conservación. Por otra parte, los cafetales de sombra y los manchones de bosque pueden estar jugando un papel muy importante para complementar la avifauna local, por lo que las acciones de conservación deben

tomar en cuenta una escala de paisaje regional que tome en cuenta las diferentes tipos de manejo de cafetal y remanentes de bosque. El manejo bajo sombra es particularmente importante pues su valor para la conservación es alto y su rentabilidad puede ser una de las más elevadas (Gordon *et al.* 2007). Otro aspecto importante de mantener cafetales con alta diversidad es la oportunidad de acceder a mercados de especialidades, existen actualmente varios esquemas de certificación que ofrecen un sobreprecio para productores que utilicen sistemas cafetaleros compatibles con la conservación de la biodiversidad (Rainforest Alliance 2006, SMBC 2006, Starbucks 2006). Adicionalmente, los cafetales con alta diversidad de aves, y en particular aquellos que mantienen aves del bosque, podrían potencialmente ser incorporados en proyectos de ecoturismo dirigidos a observadores de aves. Finalmente, es recomendable diseñar un programa de monitoreo a largo plazo de la calidad de los cafetales basado en las especies sensibles a la perturbación, de esta forma es posible la evaluación de las posibles acciones de manejo en los cafetales dirigidas a la conservación y protección de la diversidad local (Capítulo 20).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Julio Gallardo, Amy McAndrews y Jorge Montejó por su ayuda con los censos de aves. A Eduardo Martínez Leyva, por su ayuda con la logística y trabajo de campo. Agradecemos también a Octavio Rojas, Sonia Gallina y Lorena Soto Pinto por sus sugerencias y comentarios al manuscrito.

REFERENCIAS

- Aguilar-Ortiz F. 1982. Estudio ecológico de las aves del cafetal. En: Jiménez-Ávila E., Gomez-Pompa A, editores. *Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero*. Xalapa, Ver., México, Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, p. 103-128.
- Calvo L, and Blake J. 1998. Bird diversity and abundance on two different shade coffee plantations in Guatemala. *Bird Conservation International* 8:297-308.
- Clarke KR, Warwick RM. 2001. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. 2nd ed. Plymouth: PRIMER-E Ltd. 172 p.
- Colwell RK 2006. *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples*. Versión 8. <http://purl.oclc.org/estimates>.

- Colwell R K, Coddington JA. 1997. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London (Series B)* 345:101-118.
- Cruz-Angon A, Greenberg R. 2005. Are epiphytes important for birds in coffee plantations? An experimental assessment. *Journal of Applied Ecology* 42:150-159.
- Dietsch TV, Philpott SM, Rice RA, Greenberg R, Bichier P. 2004. Conservation policy in coffee landscapes. *Science* 303:625-625.
- Gordon C, Manson R, Sundberg J, Cruz-Angon A. 2007. Biodiversity, profitability, and vegetation structure in a Mexican coffee agroecosystem. *Agriculture Ecosystems & Environment* 118:256-266.
- Greenberg R, Bichier P, Cruz-Angon C, Reitsma R. 1997a. Bird populations in shade and sun coffee plantations in central Guatemala. *Conservation Biology* 11:448-459.
- Greenberg R, Bichier P, Sterling J. 1997b. Bird populations in rustic and planted shade coffee plantations of eastern Chiapas, Mexico. *Biotropica* 29:501-514.
- Guevara R. 2005. Saprotrophic mycelial cord abundance, length and survivorship are reduced in the conversion of tropical cloud forest to shaded coffee plantation. *Biological Conservation* 125:261-268.
- Howell SNG, Webb S. 1995. *A guide to the birds of Mexico and Northern Central America*. Oxford, Oxford University Press. 851 p.
- Johnson MD, Sherry TW. 2001. Effects of food availability on the distribution of migratory warblers among habitats in Jamaica. *Journal of Animal Ecology* 70:546-560.
- KCS. 2006. *XLSTAT Versión 2006.5*. Kovach Computing Services. UK.
- Komar O. 2006. Ecology and conservation of birds in coffee plantations: a critical review. *Bird Conservation International* 16:1-23.
- Magurran A. 2004. *Measuring biological diversity*. Malden: Blackwell. 256 p.
- Moguel P, Toledo VM. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13:11-21.
- Moreno CE, Halffter G. 2000. Assessing the completeness of bat biodiversity inventories using species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology* 37:149-158.
- Parrish JD, Petit LJ. 1996. Value of shade coffee plantations for tropical birds: landscape and vegetation effects. En: Lockertz W, editor. *Environmental Enhancement through Agriculture*. Center for Agriculture, Food and Environment, Tufts University, Medford, Massachusetts, p. 113-121.
- Parker TA, Stotz DF, Fitzpatrick JW. 1996. Ecological and distributional databases. En: Stotz DF, Fitzpatrick JW, Parker III TA., Moskovits DK, editores. *Neotropical birds: ecology and conservation*. Chicago, The University of Chicago Press. 478 p.
- Perfecto I, Rice RA, Greenberg R, Van der Voort ME. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46:598-608.
- Perfecto I, Armbrecht I. 2002. The coffee agroecosystem in the Neotropics: combining ecological and economic goals. En: Vandemeer JH, editor. *Tropical Agroecosystems*. Advances in Agroecology Series. Nueva York, CRC Press. p. 157-192.
- Perfecto I, Vandermeer J. 2002. Quality of agroecological matrix in a tropical montane landscape: Ants in coffee plantations in southern Mexico. *Conservation Biology* 16:174-182.
- Perfecto I, Mas A, Dietsch T, Vandermeer J. 2003. Conservation of biodiversity in coffee agroecosystems: a tri-taxa comparison in southern Mexico. *Biodiversity and Conservation* 12:1239-1252.
- Pineda E, Halffter G. 2004. Species diversity and habitat fragmentation: Frogs in a tropical montane landscape in Mexico. *Biological Conservation* 117:499-508.
- Pineda E, Moreno C, Escobar F, Halffter G. 2005. Frog, bat, and dung beetle diversity in the cloud forest and coffee agroecosystems of Veracruz, Mexico. *Conservation Biology* 19:400-410.
- Rainforest Alliance. 2006. *Rainforest Alliance Certified Coffee*. <http://www.rainforest-alliance.org/cafe/english.html>
- Rappole JH, King DI, Vega Rivera JH. 2003. Coffee and conservation. *Conservation Biology* 17:334-336.
- Raman TRS. 2006. Effects of habitat structure and adjacent habitats on birds in tropical rainforest fragments and shaded plantations in the Western Ghats, India. *Biodiversity and Conservation* 15:1577-1607.
- Roberts DL, Cooper RJ, Petit LJ. 2000a. Flock characteristics of ant-following birds in premontane moist forest and coffee agroecosystems. *Ecological Applications* 10:1414-1425.
- Roberts DL, Cooper RJ, Petit LJ. 2000b. Use of premontane moist forest and shade coffee agroecosystems by army ants in western Panama. *Conservation Biology* 14:192-199.
- Sánchez O, López G. 1988. A theoretical analysis of some indices of similarity as applied to biogeography. *Folia Entomologica Mexicana* 75:119-145.
- SMBC. 2006. *Criteria Working Group Thought Paper*. Smithsonian Migratory Bird Center. <http://nationalzoo.si.edu/ConservationAndScience/MigratoryBirds/Coffee/thoughtpaper.cfm>
- Starbucks Co. 2006. *The Chiapas coffee project*. <http://www.starbucks.com/aboutus/chiapas.asp>
- Sutherland WJ, Newton I, Green RE (editores). 2004. *Bird ecology and conservation: a handbook of techniques*. Oxford University Press, Oxford.
- Tejeda-Cruz C, Sutherland WJ. 2004. Bird responses to shade coffee production. *Animal Conservation* 7:169-179.
- Williams-Linera G. 2002. Tree species richness complementarity, disturbance and fragmentation in a Mexican tropical montane cloud forest. *Biodiversity and Conservation* 11:1825-1843.

APÉNDICE 11.1. NÚMERO DE INDIVIDUOS DE LAS ESPECIES DE AVES REGISTRADAS EN CADA UNO DE LOS CAFETALES MUESTREADOS EN LA REGIÓN COATEPEC-HUATUSCO, VERACRUZ. LAS ESPECIES ESTÁN ORDENADAS POR ORDEN TAXONÓMICO.

Especies	Bosque					Bajo monte		Café diverso									Café simplificado				Sol	
	CAÑ	PAR	MAS	VBO	XOL	MIR	VBM	ONZ	ORD	OSE	ALU	ARM	AUR	AXO	ZOP	MOR	PAN	VCS	VSE	ESM	MTZ	SOL
<i>Crypturellus cinnamomeus</i>	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coragyps atratus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chondrohierax uncinatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Accipiter cooperii</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Buteogallus anthracinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Buteo magnirostris</i>	0	0	1	0	1	4	8	1	4	2	0	5	0	0	3	0	1	7	9	2	0	0
<i>Micrastur semitorquatus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
<i>Ortalis vetula</i>	0	0	0	1	0	0	6	2	1	2	9	8	0	0	0	0	15	0	0	0	2	0
<i>Aramides cajanea</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
<i>Patagioenas flavirostris</i>	0	1	0	0	0	1	6	0	0	0	1	3	0	0	0	0	2	1	1	1	1	0
<i>Columbina inca</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	1	0	0	0	0
<i>Columbina talpacoti</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Claravis pretiosa</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Leptotila verreauxi</i>	1	1	3	5	3	17	16	1	3	1	2	5	1	1	4	1	4	4	19	0	0	1
<i>Leptotila rufaxilla</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>Geotrygon montana</i>	0	0	0	3	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pionus senilis</i>	0	0	0	0	0	64	2	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	3	7	0	0	0
<i>Amazona albifrons</i>	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
<i>Coccyzus americanus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Piaya cayana</i>	0	0	0	2	0	6	3	2	3	1	1	1	0	0	1	0	3	0	3	0	0	0
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Glaucidium brasilianum</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0
<i>Phaethornis striigularis</i>	0	0	0	6	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Campylopterus curvipennis</i>	2	26	5	4	2	47	24	25	15	2	18	9	1	0	7	2	49	1	6	1	0	0
<i>Campylopterus hemileucurus</i>	0	1	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Colibri thalassinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Anthracothorax prevostii</i>	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	0	0	0	1	0	3	2	3	0	1	0
<i>Chlorostilbon canivetii</i>	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	6	0	0	2	0
<i>Hylocharis leucotis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Amazilia candida</i>	0	0	0	3	0	18	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Amazilia cyanocephala</i>	0	10	0	2	1	15	10	12	12	1	8	5	0	0	13	3	3	4	14	11	3	2
<i>Amazilia beryllina</i>	1	6	0	0	1	2	2	0	5	0	0	1	0	0	2	0	3	0	4	3	2	0
<i>Amazilia tzacatl</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
<i>Amazilia yucatanensis</i>	0	1	0	0	0	0	2	5	10	5	4	8	2	0	6	1	14	22	16	1	6	16
<i>Lampornis clemenciae</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eugenes fulgens</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Heliomaster longirostris</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Selasphorus platycercus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Trogon violaceus</i>	0	2	1	0	0	7	8	0	4	0	3	2	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0
<i>Trogon mexicanus</i>	1	0	0	0	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Trogon collaris</i>	0	1	2	5	0	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Momotus momota</i>	0	5	2	6	3	11	5	2	5	0	7	3	3	3	0	2	10	7	0	0	0	0
<i>Chloroceryle americana</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Aulacorhynchus prasinus</i>	1	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pteroglossus torquatus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ramphastos sulfuratus</i>	0	0	0	1	0	4	7	0	0	0	0	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Melanerpes formicivorus</i>	0	1	0	0	0	9	60	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Melanerpes aurifrons</i>	0	0	0	3	0	20	9	19	42	19	31	67	10	2	84	3	35	18	7	36	36	0
<i>Picoides scalaris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0
<i>Veniliornis fumigatus</i>	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Piculus rubiginosus</i>	0	0	0	1	2	2	4	2	6	0	0	1	0	0	2	0	3	0	1	4	0	0
<i>Dryocopus lineatus</i>	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Anabacerthia variegaticeps</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Automolus ochrolaemus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Automolus rubiginosus</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sclerurus mexicanus</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sittasomus griseicapillus</i>	4	0	1	1	1	20	8	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0
<i>Xiphorhynchus flavigaster</i>	0	0	0	6	0	21	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Xiphorhynchus erythropygius</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lepidocolaptes affinis</i>	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Myiopagis viridicata</i>	0	0	0	1	0	0	11	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

APÉNDICE 11.1. NÚMERO DE INDIVIDUOS DE LAS ESPECIES DE AVES REGISTRADAS EN CADA UNO DE LOS CAFETALES MUESTREADOS EN LA REGIÓN COATEPEC-HUATUSCO, VERACRUZ. LAS ESPECIES ESTÁN ORDENADAS POR ORDEN TAXONÓMICO. (CONTINUACIÓN)

Especies	Bosque					Bajo monte		Café diverso									Café simplificado				Sol	
	CAÑ	PAR	MAS	VBO	XOL	MIR	VBM	ONZ	ORD	OSE	ALU	ARM	AUR	AXO	ZOP	MOR	PAN	VCS	VSE	ESM	MTZ	SOL
<i>Mionectes oleagineus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhynchocyclus brevirostris</i>	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tolmomyias sulphurescens</i>	5	1	2	1	0	11	10	0	0	0	0	4	3	3	3	1	3	0	5	3	0	0
<i>Contopus pertinax</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Contopus virens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Contopus cinereus</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Empidonax occidentalis</i>	4	10	2	0	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Myiarchus tuberculifer</i>	2	2	2	2	2	15	15	0	18	2	1	2	2	4	7	4	3	0	5	8	9	0
<i>Pitangus sulphuratus</i>	0	0	0	0	0	0	0	14	0	1	4	0	0	0	10	0	3	2	5	0	4	0
<i>Megarynchus pitangua</i>	0	0	0	1	0	0	10	4	0	0	0	2	0	0	6	0	0	0	0	1	1	0
<i>Myiozetetes similis</i>	0	1	0	0	0	4	0	7	2	0	2	0	2	0	8	2	3	1	4	3	4	1
<i>Myiodynastes maculipectus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Myiodynastes luteiventris</i>	0	2	0	1	1	3	13	2	0	0	0	4	0	0	3	0	0	1	1	1	2	0
<i>Tyrannus melancholicus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Pachyrhamphus aglaiae</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tityra semifasciata</i>	0	0	0	3	0	10	18	3	3	0	3	13	1	0	16	0	2	7	0	5	5	0
<i>Vireo leucophrys</i>	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Vireo flavoviridis</i>	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cyanocorax yncas</i>	1	0	2	3	0	4	2	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	2	0	0	0
<i>Cyanocorax morio</i>	3	7	1	7	10	42	48	39	67	24	50	59	13	3	53	5	62	42	20	25	11	4
<i>Baeolophus bicolor</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0
<i>Campylorhynchus zonatus</i>	0	0	0	0	0	30	72	17	27	0	8	13	10	0	22	2	22	4	3	11	16	0
<i>Thryothorus maculipectus</i>	1	8	3	1	33	7	3	4	11	0	2	1	1	0	6	1	0	2	10	9	2	6
<i>Uropila leucogastra</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Henicorhina leucosticta</i>	17	0	0	13	0	17	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Henicorhina leucophrys</i>	6	10	8	2	26	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Myadestes occidentalis</i>	7	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Myadestes unicolor</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Catharus aurantirostris</i>	9	9	1	1	10	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>catharus mexicanus</i>	4	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Turdus infuscatus</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Turdus grayi</i>	0	8	0	6	10	0	31	13	6	1	7	5	11	0	5	4	3	9	19	1	0	0
<i>Turdus assimilis</i>	0	0	1	0	3	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Parula superciliosa</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Parula pitiayumi</i>	0	0	0	0	0	1	5	4	25	5	0	9	0	2	8	0	7	6	1	9	0	0
<i>Mniotilta varia</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Geothlypis nelsoni</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Geothlypis poliocephala</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Myioborus miniatus</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Euthlypis lachrymosa</i>	0	0	0	1	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Basileuterus culicivorus</i>	4	45	2	29	50	81	45	23	53	7	12	12	3	6	3	7	19	15	10	12	1	3
<i>Basileuterus rufifrons</i>	0	0	0	0	0	0	3	3	5	1	1	4	1	2	8	0	5	17	9	5	0	15
<i>Basileuterus belli</i>	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coereba flaveola</i>	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chlorospingus ophthalmicus</i>	46	92	24	21	129	237	120	89	125	35	65	40	9	5	49	25	3	15	33	48	0	0
<i>Habia rubica</i>	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	9	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
<i>Habia fuscicauda</i>	0	0	0	14	0	16	14	2	1	0	7	0	0	4	0	0	3	0	2	0	0	0
<i>Piranga leucoptera</i>	3	5	1	0	4	6	9	8	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	0	0
<i>Thraupis episcopus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thraupis abbas</i>	0	0	0	0	0	12	13	13	0	7	0	3	0	8	1	5	12	9	2	0	0	0
<i>Euphonia affinis</i>	0	0	2	0	0	19	8	0	6	1	5	4	1	2	8	4	0	22	10	0	0	2
<i>Euphonia hirundinacea</i>	6	7	1	8	6	35	23	10	12	0	2	52	1	6	44	2	7	2	4	7	4	0
<i>Euphonia elegantissima</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
<i>Chlorophonia occipitalis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cyanerpes cyaneus</i>	1	0	0	2	0	4	11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Volatinia jacarina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	8	0	1	125
<i>Sporophila torqueola</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0	4	0	0	15
<i>Tiaris olivacea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3	36	0	0	31
<i>Diglossa baritula</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Atlapetes albinucha</i>	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

APÉNDICE 11.1. NÚMERO DE INDIVIDUOS DE LAS ESPECIES DE AVES REGISTRADAS EN CADA UNO DE LOS CAFETALES MUESTREADOS EN LA REGIÓN COATEPEC-HUATUSCO, VERACRUZ. LAS ESPECIES ESTÁN ORDENADAS POR ORDEN TAXONÓMICO. (CONTINUACIÓN)

Especies	Bosque					Bajo monte		Café diverso									Café simplificado				Sol	
	CAÑ	PAR	MAS	VBO	XOL	MIR	VBM	ONZ	ORD	OSE	ALU	ARM	AUR	AXO	ZOP	MOR	PAN	VCS	VSE	ESM	MTZ	SOL
<i>Buarremon brunneinucha</i>	1	6	5	2	0	12	5	10	0	0	0	4	0	0	1	2	0	2	6	11	0	0
<i>Arremonops rufivirgatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	1	19	0	7	0
<i>Aimophila rufescens</i>	0	0	0	0	0	5	0	11	3	0	0	0	1	2	2	1	3	1	13	14	6	35
<i>Saltator coerulescens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
<i>Saltator atriceps</i>	0	0	0	5	0	9	15	19	7	0	7	16	5	2	8	0	34	13	8	3	8	0
<i>Cyanocompsa parellina</i>	1	1	0	0	0	4	0	0	13	0	0	16	0	3	2	4	0	5	13	2	7	5
<i>Passerina caerulea</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	7	0	12	16
<i>Passerina cyanea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Dives dives</i>	0	0	0	0	0	1	4	9	4	0	9	15	12	1	8	3	32	17	13	5	9	1
<i>Quiscalus mexicanus</i>	0	0	0	0	0	0	1	22	3	0	5	38	8	1	65	0	18	12	7	5	7	0
<i>Molothrus aeneus</i>	0	0	0	0	0	4	2	1	0	0	0	0	0	0	6	0	1	0	36	1	13	9
<i>Icterus spurius</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Icterus gularis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0
<i>Icterus graduacauda</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	0	0	0
<i>Psarocolius wagleri</i>	0	0	0	0	0	6	12	7	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Psarocolius montezuma</i>	0	0	0	6	0	14	43	2	17	1	54	12	1	0	12	3	5	4	16	5	2	0
<i>Carduelis notata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Carduelis psaltria</i>	0	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	4	7	0	0	67
Total individuos	145	277	94	185	324	939	806	413	536	118	352	469	111	53	513	86	389	326	459	281	185	364
Número de especies	32	33	31	43	30	68	71	41	42	21	35	45	28	19	47	26	39	46	59	40	31	25

Mamíferos pequeños y medianos

SONIA GALLINA, ALBERTO GONZÁLEZ-ROMERO Y ROBERT H. MANSON

Resumen

Un número creciente de estudios sugieren que los cafetales de sombra pueden mantener mucha de la estructura (especies) y las funciones (servicios ambientales) de los ecosistemas boscosos que reemplazan. Sin embargo, estos efectos positivos para la conservación han estado evaluados mucho más para ciertos grupos taxonómicos que para otros. En México, las mejores zonas para la producción del café se localizan donde se establecía el bosque mesófilo, el cual es el ecosistema con el promedio más alto de especies de mamíferos del país. El objetivo de este estudio fue determinar el papel de los cafetales en la conservación de las especies de mamíferos terrestres pequeños y medianos registrados en el centro del estado de Veracruz, considerando el impacto del tipo de manejo y comparando la riqueza de los cafetales de sombra con la presente en los remanentes de bosque mesófilo de montaña. Se seleccionaron ocho fincas cafetaleras y un fragmento de bosque en el centro de Veracruz, realizando muestreos en el periodo 2003-2006. Para pequeños mamíferos se usaron trampas "Sherman", y para mamíferos medianos trampas "Tomahawk" y trampas cámara "Trailmaster". Se registraron un total de 33 especies (4 marsupiales, 2 desdentados, 14 roedores, 1 lagomorfo y 12 carnívoros), que representa el 60% de los 55 mamíferos previamente registrados para la zona. De los 22 registros históricos de pequeños mamíferos, sólo hubo 8 (36%), mientras que de las 33 especies de mamíferos medianos se registraron 24 (72%). El manejo del cafetal tiene un efecto negativo significativo para la presencia de las especies de mamíferos medianos, pero no fue significativo para los pequeños. Asimismo, la cacería y la calidad del paisaje también son los factores que parecen afectar a los mamíferos medianos.

Abstract

A growing number of studies suggest that shade coffee plantations can maintain an important part of the structure (species) and function (ecosystem services) of the forest ecosystem they have replaced. Nevertheless, these positive effects have been evaluated much more for certain taxa than for others. In Mexico, the best zones for coffee production largely overlap with that of cloud forests, which is the ecosystem with the highest average mammalian diversity in the country. The objective of this study was to determine the role of shade coffee plantations in central Veracruz in the conservation of the pool of small- and medium-sized mammals species registered in the region, while also considering the effects of different management strategies on the patterns observed, and evaluating how overall mammalian biodiversity compares to that in cloud forest fragments. Eight coffee plantations and a forest control site were surveyed for terrestrial mammals during the period 2003-2006 using "Sherman" traps to census small mammals and "Tomahawk" and "Trailmaster" camera-traps to survey medium-sized mammals. A total of 33 species were detected (4 marsupials, 2 Xenarthrans, 14 rodents, 1 lagomorph, and 12 carnivores)

representing 60% of the 55 species registered historically in the region. Only 8 (36%) of the 22 species of small mammals present originally were still found in our study sites compared to 24 (72%) of the 33 species of medium-sized mammals registered historically. Medium-sized but not small mammals were negatively related with the coffee management intensity, while hunting and landscape-scale quality also appear to disproportionately affect the medium mammalian species we studied.

INTRODUCCION

El café, a pesar de ser una planta exótica, es un cultivo que por su sistema de manejo con árboles de sombra se reconoce por ser menos negativo para la conservación de la biodiversidad que otros cultivos, aunque jamás podrá replicar exactamente la estructura y el funcionamiento del bosque original (Perfecto *et al.* 1996, Moguel y Toledo 1999). En los cafetales rústicos por ejemplo, una gran parte de las especies nativas de plantas pueden continuar existiendo (37-45 especies de árboles; Perfecto *et al.* 1996, Bandeira *et al.* 2005, Capítulo 4), y manteniendo hábitat crítico para muchos animales y otros procesos ecológicos claves de los ecosistemas boscosos que reemplazaron (Capítulo 1). Por lo tanto, los cafetales pueden ayudar a conservar la biodiversidad, y sobre todo, es particularmente importante en zonas de bosque mesófilo de montaña (BMM) dada su relevancia en la conservación y su alta tasa de transformación. Estos mismos estudios también resaltan que los efectos de cambios de manejo de los cafetales han sido comprobados más para ciertos grupos (por ejemplo, aves e insectos) que para otros (por ejemplo los mamíferos y la herpetofauna; Perfecto *et al.* 1996, Moguel y Toledo 1999, Capítulo 1).

Puesto que en México los cafetales de alta calidad se localizan en las zonas en donde se distribuía el bosque mesófilo (Challenger 1998, Moguel y Toledo 1999), se supone que la fauna de mamíferos que ahí se encontraba, es similar a la de este tipo de ecosistema. Sin embargo, la presencia de especies tropicales de mamíferos indica que estas zonas proporcionan hábitat complementario a ecosistemas adyacentes (Gallina *et al.* 1996). El bosque mesófilo de montaña por sí solo, tiene una alta proporción de especies endémicas de fauna y exhibe una gran diversidad de especies (Flores-Villela y Navarro 1993, CONABIO 1998). De particular relevancia para este capítulo, Fa y Morales (1993) reportan que en promedio, los bosques mesófilos tienen el número más elevado de mamíferos por unidad de área que cualquier otro ecosistema de México.

El bosque mesófilo de montaña dominaba la región montañosa (>800 msnm) del estado de Veracruz,

cubriendo el 28% de la vegetación de esta región del estado en el 1984. Sin embargo, el 12.7% (aproximadamente 19,000 ha) de su cobertura se perdió en el año 2000 debido a la conversión a cultivos, pastizales para ganadería y expansión urbana (Manson *et al.* 2004). Este patrón se está repitiendo en muchas otras partes de México donde se estima que el 50% de este tipo de bosque ya ha sido reemplazado a nivel nacional (Challenger 1998). A nivel mundial, el bosque mesófilo de montaña es el ecosistema boscoso tropical con la tasa de transformación más elevada (Doumenge *et al.* 1995, Aldrich *et al.* 2000).

Generalmente la transformación de los hábitat naturales es provocada por un conjunto de factores sociales, económicos, demográficos, culturales y biológicos, que inducen a la desaparición de especies vegetales y animales (Lambin *et al.* 2003). La transformación acelerada de los hábitat naturales, que son sustituidos por modernos sistemas productivos agrícolas y ganaderos, en muchos casos ha aumentado el grado de aislamiento y reducido el tamaño de las poblaciones de muchas especies de fauna (Andrén 1994, Perfecto y Vandermeer 2002, Hanski y Gaggiotti 2004), sobre todo la de los mamíferos medianos dados sus requerimientos ecológicos en cuanto a tipos de locomoción, alimentación y refugio. Mientras que algunos de los primeros estudios ecológicos sobre cafetales se realizaron en el centro del estado de Veracruz (Jiménez-Ávila 1979, Jiménez-Ávila y Correa-Peña 1980, Jiménez-Ávila y Gomez-Pompa 1982), aún hacen falta más estudios, en Veracruz y otras partes de América Latina, sobre estos agroecosistemas para entender bien su papel en la conservación de la biodiversidad (Moguel y Toledo 1999). En este contexto, el gran reto es compaginar tipos de cultivos y sistemas de manejo sustentables que ayuden a conservar la biodiversidad (en este caso son los mamíferos pequeños y medianos) y simultáneamente aseguren el bienestar socioeconómico de un sector importante del país (Potvin *et al.* 2005, Eakin *et al.* 2006, Vandermeer y Perfecto 2007).

La mayoría de las variedades de café que se cultivan en la zona centro de Veracruz necesitan árboles que le provean de sombra (Hernández-Martínez, Com. pers.).

Mientras que la mayoría de las especies de árboles dominantes son especies introducidas, la diversidad de especies es mucha más alta para las nativas (83 especies) *versus* las exóticas (24; Capítulo 4). Aunque no son especies a las cuales la fauna local estén adaptadas en términos evolutivos, muchas de estas especies exóticas producen flores o frutos (por ejemplo, el jinicuil, los cítricos, el plátano, el mango, entre otras) que son utilizadas como alimento. Por eso, aún no es claro el impacto neto de los cambios en el manejo de este cultivo sobre las comunidades de mamíferos. Los estudios de mamíferos terrestres en ésta (Gallina *et al.* 1992, 1996) y otras regiones cafetaleras de América Latina son muy limitados comparados con otros grupos animales (Perfecto *et al.* 1996, Moguel y Toledo 1999, Gordon *et al.* 2007, Capítulo 1). Los estudios de Gallina *et al.* (1992, 1996) mostraron la importancia de las fincas de café de sombra en el centro del estado de Veracruz para conservar nichos ecológicos importantes para especies de mamíferos intermedios con diferentes preferencias de hábitat y dieta, así como con diferentes modos de locomoción. Existe un trabajo similar al presente que compara la diversidad de mamíferos en cafetales y en selva mediana de las Cañadas de la Selva Lacandona, Chiapas, México (Cruz-Lara *et al.* 2004). En este último, se registraron un total de 54 especies de mamíferos de las cuales 31 especies eran del orden Chiroptera, 13 especies del orden Rodentia. En cuanto a mamíferos medianos se registraron 7 especies en los cafetales de las 14 encontradas en la selva mediana. Otro estudio (Muñoz *et al.* 2000) comparó fincas cafetaleras con el bosque mesófilo de montaña en El Triunfo, Chiapas, registrando una caída del 66% en la diversidad de pequeños mamíferos en los cafetales.

En este trabajo pretendemos dar un enfoque sobre la diversidad de los mamíferos pequeños y medianos presentes en los cafetales bajo diferentes niveles de intensificación, así como el papel de estos agroecosistemas en la conservación a nivel regional. El manejo del cafetal determina la estructura del mismo y varía desde prácticas relativamente rústicas hasta un uso más intensificado que implica diferencias en la cantidad y frecuencia de uso de agroquímicos, frecuencia de chapeo, variedad de árboles de sombra, variedad de café, densidad de árboles, entre otros (Capítulo 2). Toda esta variación puede afectar la diversidad alfa o diversidad puntual la cual corresponde a un concepto claro y fácil de entender, cuando se considera el número de especies presentes en un lugar, que en

este caso particular consideramos las diferentes fincas cafetaleras. En el cálculo de la diversidad alfa, Halffter y Moreno (2005) señalan que hay varios elementos que hay que considerar incluyendo: 1) la proporción de especies raras; 2) las especies “turistas”; 3) fenómenos demográficos como el efecto de masa; 4) el área que ocupa la comunidad en estudio; y 5) la heterogeneidad espacial del paisaje alrededor. Midiendo cómo cambia la diversidad alfa de mamíferos en fincas de café bajo diferentes niveles de intensificación nos ayudará a detectar y establecer sistemas productivos que mantengan una máxima biodiversidad, así como determinar cuáles son las variables biológicas y de manejo que más afectan, en un momento dado, la presencia de mamíferos pequeños y medianos, y finalmente sugerir estrategias de manejo que permitan, además de una producción sustentable, conservar la diversidad de esta fauna.

También es importante considerar el papel de las fincas de café en la conservación de la diversidad regional a través de su capacidad de amortiguar efectos de borde y aumentar la conectividad entre remanentes de hábitat original (Vandermeer y Perfecto 2007). En este sentido nos ayuda medir la diversidad beta o las diferencias (el recambio) entre las especies de dos sitios o tipos de comunidad (por ejemplo fragmentos de bosque y fincas de café bajo distintos niveles de intensificación), para expresar el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas (Pielou 1975, Magurran 1988, 2005). La complementariedad es la diversidad beta, por lo que entre más complementarios sean dos sitios, más alta será su diversidad beta y más importantes serán estos hábitat respectivos en la conservación de la biodiversidad regional. El término “complementariedad”, introducido por Van-Wright *et al.* (1991, citado por Magurran 2005), describe la diferencia entre sitios en términos de las especies que soportan. El concepto es principalmente dirigido hacia planes de conservación. La diversidad gamma es la riqueza de especies de un paisaje o área geográfica, que resulta como consecuencia de la diversidad alfa de las comunidades individuales.

Dado lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo principal determinar las especies de mamíferos pequeños y medianos presentes en el agroecosistema cafetalero, tomando en cuenta el tipo de manejo y comparando los resultados con las condiciones naturales del bosque mesófilo de montaña originario de la zona. Nuestra hipótesis central es que las fincas cafetaleras con un manejo más tradicional que mantienen una

alta diversidad del estrato arbóreo y utilizan menos agroquímicos, tendrán una mayor diversidad de mamíferos pequeños y medianos, y serán más parecidas al bosque.

Para probar esta hipótesis, se plantearon los siguientes objetivos particulares:

- 1) Conocer la riqueza y diversidad de especies de mamíferos pequeños y medianos en las fincas cafetaleras con diferentes manejos y en el fragmento de bosque. Es decir, determinar la diversidad alfa, beta y gamma.
- 2) Identificar y caracterizar la diversidad de gremios de especies presentes en las fincas cafetaleras de acuerdo con su tipo de alimentación y forma de locomoción o desplazamiento para conocer cuáles son más afectados con el manejo del cafetal, y saber cuáles tipos de fincas muestra una diversidad más alta de nichos ecológicos.
- 3) Conocer si el paisaje que rodea a las fincas influye en la presencia de mamíferos en los cafetales.

MATERIAL Y MÉTODOS

Con el fin de contar con un listado de especies con registros históricos en la zona, se realizó una búsqueda bibliográfica para reconstruir la fauna de mamíferos que originalmente existía en la zona (Hall 1981, Hall y Dalquest 1963). La nomenclatura de las especies utilizada está basada en Wilson y Reeder (2005).

En el Cuadro 12.1 se presenta una descripción breve de las 8 fincas seleccionadas para este estudio en el centro de Veracruz, dos ubicadas en la zona de Huatusco: El Mirador (MIR) y La Vequia (VSE), y seis en la zona Coatepec-Xalapa: Armand (ARM), Orduña (ORD), Onza (ONZ), Zopilote (ZOP), Martínez (MTZ), Teocelo (SOL). Asimismo, se incluyó un fragmento de bosque mesófilo en la zona de Huatusco (Las Cañadas o CAÑ) como punto de comparación ya que es típico de los fragmentos de bosque de la región con una mezcla de bosque no perturbado y secundario en recuperación desde hace 16 años. Se realizaron muestreos en estos sitios durante un periodo de tres años (2003 a 2006).

Para el muestreo de los pequeños mamíferos se utilizaron un promedio de 10 puntos permanentes ubicados en cada finca, separados por una distancia mínima de

50 m. Se colocaron cuatro trampas Sherman alineadas con los puntos cardinales en cada uno de estos puntos, dejándolas abiertas 4 noches consecutivas durante cada evento de muestreo en el 2003 y 3 noches durante el 2004 y 2005 (86 noches de trapeo en total). El cebo utilizado fue avena con vainilla. Los individuos capturados fueron registrados y se tomaron los siguientes datos: especie, sexo, peso, y estado reproductivo, y después se marcaron con un arete numerado y se liberaron en el punto de captura.

Para mamíferos medianos, las ocho fincas y el fragmento de bosque se muestrearon en promedio 7.5 noches durante 2003 al 2006 (varió de 5 a 12 noches por finca ya que el último año no se muestrearon todas, Cuadro 12.2), haciendo un total de 68 noches de muestreo, en los cuales se usaron trampas de caja (para capturas en vivo) Tomahawk, colocando en transectos, 10 trampas por sitio durante dos noches consecutivas (y en algunas ocasiones 3 noches) a una distancia promedio de 50 m entre trampa y trampa (cerca de veredas y cuando era posible cerca de los puntos utilizados para pequeños mamíferos). Las trampas Tomahawk se alternaron poniendo una mediana y una grande. Se utilizaron distintos cebos (la mayoría de las veces simultáneamente): chorizo, manzanas, pollo crudo, que eran amarrados en las trampas. Los mamíferos medianos capturados fueron medidos (longitud total, largo de la cola, largo de la pata y largo de la oreja), registrando el peso y condiciones físicas del individuo, y se marcaron mediante una grapa numerada en la oreja, liberándose inmediatamente *in situ*.

Durante un año se colocaron también 5 cámaras-trampa automatizadas Trailmaster por finca en sitios estratégicos como cerca de madrigueras o veredas, que toman la foto cuando pasa algún animal dentro del rango del sensor de movimiento, y se dejaban durante 4 días continuos en 6 de las fincas haciendo un total de 240 noches/cámara (García-Burgos 2007).

Con el fin de evaluar el impacto de diferente nivel de intensificación sobre el número de nichos ecológicos disponibles en fincas de café en el centro del estado de Veracruz, las especies de mamíferos registrados se clasificaron por el tipo de locomoción tomando como base el trabajo de Robinson y Redford (1986) en: arborícolas (A), escansoriales (E), terrestres (T), acuáticos (a), fosoriales (F). También se clasificaron por sus hábitos alimentarios, basados en Robinson y Redford (1986) con la inclusión de una categoría más (herbívoros-granívoros) en: Herbívoros-pastadores

Cuadro 12.1. Descripción de las fincas de café con el tipo de manejo (IIB), el Índice de Estructura Biofísica (IEB, Capítulo 2) y el Índice de Calidad del Paisaje (Capítulo 19).

Finca	Siglas	Extensión (ha)	Intensificación (estructura-manejo)	IIB	IEB	Índice de Calidad
Cañadas	CAÑ	298.63	Bosque	0	1	280.2
Mirador	MIR	140.58	Rústico-Medio	0	0.62	276.6
Orduña	ORD	195.99	Rústico-Medio	0.32	0.58	206.6
Armand	ARM	15.74	Rústico-Medio	0.22	0.62	279.6
Zopilote	ZOP	10.26	Rústico-Medio	0.85	0.59	309.8
Onza	ONZ	1.96	Rústico-Bajo	1	0.51	299.4
Vequia	VSE	113.85	Monocultivo- Alto	0.58	0.27	282.1
Martínez	MTZ	17.38	Monocultivo- Alto	0.64	0.18	295.1
Teocelo	SOL	45.04	A Sol	0.36	-0.06	294.1

Cuadro 12.2. Muestreos realizados por fincas cafetaleras en el centro de Veracruz y resultados de capturas de mamíferos pequeños (A) y medianos (B) a lo largo de tres años.

A) MAMÍFEROS PEQUEÑOS

Finca	Noche (#)	Puntos (#)	Años (#)	Esfuerzo de Captura (Trampas/Noche)	Capturas (#)	Especies Registradas (#)	Éxito de Captura (%)	Riqueza Ajustada
CAÑ	6	10	2	240	10	3	4.2	1.25
MIR	10	12	3	480	17	2	3.5	0.47
ORD	10	10	3	400	3	2	0.8	0.47
ARM	10	10	3	400	4	4	1.0	1
ZOP	10	10	3	400	1	1	0.3	0.25
ONZ	10	10	3	400	2	2	0.5	0.5
VSE	10	30	3	1200	4	4	0.3	0.33
MTZ	10	10	3	400	21	5	5.3	1.25
SOL	10	10	3	400	15	2	3.8	0.5
TOT	86			4320	97		2.19	

B) MAMÍFEROS MEDIANOS

Finca	Noche (#)	Esfuerzo de Captura (Trampas/Noche)	Capturas (#)	Especies (#)	Éxito de Captura (#)	Riqueza Ajustada
CAÑ	7	70	3	1	4.3	1.43
MIR	10	100	13	2	13.0	2
ORD	12	120	25	2	20.8	1.67
ARM	8	80	19	2	23.8	2.5
ZOP	8	80	11	2	13.8	2.5
ONZ	6	60	12	4	20.0	6.67
VSE	6	60	7	2	11.7	3.33
MTZ	5	50	5	1	10.0	2
SOL	6	60	0	0	0	0
TOTAL	68	680	95		14.0	

(H-P), los que se alimentan en su mayoría de pastos (>50%), Herbívoros-granívoros (H-G), los que se alimentan en su mayoría de hierbas y semillas (>50%), Frugívoros-granívoros (F-G), los que se alimentan en su mayoría de frutos y semillas (>50%), Frugívoro-omnívoro (F-O), los que se alimentan en su mayoría de frutos, invertebrados y vertebrados (>50%), Insectívoro-omnívoro (I-O), los que se alimentan en su mayoría de invertebrados (>50%), Mirmecófago (M), los que se alimentan en su mayoría de hormigas y termitas (>75%), y Carnívoro (C), los que se alimentan en su mayoría de vertebrados (>50%).

Para conocer el efecto que tiene el tipo de estructura y manejo en la finca se utilizaron los índices generados en el Capítulo 2: 1) el Índice de Estructura Biofísica (IEB) se calculó usando la suma de los valores estandarizados de todas las variables de la estructura (va de 0 a 1, del menor al más alto), y 2) el Índice de Impacto Biológico IIB, que surge por la necesidad de diferenciar de manera cualitativa y cuantitativa el impacto biológico de las distintas prácticas de manejo de las fincas de la región, incluyendo la frecuencia y magnitud estimada de diferentes prácticas de fertilización, control de malezas y control de plagas. Este índice fue calculado con la sumatoria del impacto de las diferentes prácticas del manejo en cada finca, donde los valores estandarizados indican que el valor de cero corresponde a la ausencia de manejo y uno al valor máximo de manejo para la muestra, es decir, el mayor impacto biológico (Capítulo 2).

Para determinar el efecto del paisaje, se tomó el Índice de Calidad del Paisaje (Capítulo 19), que considera como referencia las áreas ocupadas por los puntos de muestreo dentro de cada finca o bosque, trazando círculos de 2 km de diámetro. Usando información espectral de imágenes IKONOS (2004), se cuantificó el porcentaje del área ocupada por cuatro tipos de cobertura (área abierta, área de sombra incipiente, intermedia y densa) dentro de cada círculo. Estos porcentajes se convirtieron en un índice de paisaje ponderado usando la siguiente sumatoria: (% de área abierta \times 1) + (% área con sombra incipiente \times 2) + (% área con sombra intermedia \times 3) + (% área con sombra densa \times 4).

Análisis de Datos

Se calculó el esfuerzo de captura, considerando el número de trampas por el número de noches que

fueron dejadas en cada finca, mientras que el éxito de captura representa el número de animales que cayeron en las trampas de acuerdo con el esfuerzo de captura, multiplicado por 100, para expresarlo en % de éxito (Cuadro 12.2). La riqueza de especies estimada como la diversidad alfa se calculó con base en el número de especies detectado por finca. Dado el hecho de que hubo mucha variación entre sitios en el esfuerzo de muestreo tanto para mamíferos pequeños como para los medianos, también generamos otra variable dependiente llamada riqueza ajustada (RA) que modificó la riqueza detectada (RD) en base del esfuerzo de muestreo (EM) $(RA = (RD / EM) * 100)$, aunque para la mayoría de los análisis se utilizó la presencia-ausencia de especies, ya que muchas de ellas (sobre todo mamíferos medianos) fueron registradas por diferentes métodos como rastros y entrevistas con personas.

Para comparar las fincas (diversidad beta) se obtuvo un valor de similitud utilizando el Índice de Similitud de Jaccard $(ISJ) = c/a + b - c$ donde, a = especies en el sitio a ; b = especies en el sitio b , y c = especies compartidas.

Se estimó la complementariedad para obtener la diversidad beta mediante la fórmula:

$$C = [(S_j + S_k) - 2V_{jk} / (S_j + S_k) - V_{jk}] * 100$$

Donde S_j y S_k son el número de especies en los sitios j y k , y V_{jk} es el número de especies comunes en los dos sitios. La complementariedad varía de 0% cuando las dos listas de especies son idénticas o hasta 100% cuando son completamente distintas (Colwell y Coddington 1994).

Además, ya que no se tenían valores de abundancia de todas las especies (especialmente de mamíferos medianos por haber utilizado diferentes métodos para su registro), se tomaron en consideración los gremios y se obtuvo la medida de Diversidad Ecológica (H^{eco}) de mamíferos mediante una matriz considerando en las columnas el tipo de forrajeo y en los renglones el tipo de locomoción, usando el Índice de Shannon-Wiener:

$$H^{\text{eco}} = -\sum (C_{ij} / \Sigma\Sigma) \ln (C_{ij} / \Sigma)$$

Donde C_{ij} es el total de cada celda de la matriz y $\Sigma\Sigma$ es el gran total de la matriz.

Igualmente, se obtuvo la medida de Equitatividad Ecológica o Índice de Pielou (J^{e}), la cual es la diversidad

ecológica dividida por el logaritmo natural del número de celdas ocupadas (August 1983):

$$J' = H'_{\text{eco}} / \ln \text{ del número de celdas}$$

Se aplicó el algoritmo del Programa EstimateS 8.0 (Colwell 2006) para hacer un análisis de rarefacción de la riqueza de especies, utilizando el modelo Mao-Tau, con presencia-ausencia de las especies. Para conocer si las diferencias en la riqueza de especies entre las fincas cafetaleras y el fragmento de bosque mesófilo eran significativas se corrieron pruebas de *t* pareadas. Además con el Programa Statistica 7.0 (StatSoft, Inc. 2003), se hizo un dendrograma con el método de agrupamiento UPGA (Unweighted Pair Group Average) utilizando el porcentaje de disimilitud de acuerdo con la presencia-ausencia de especies de mamíferos de las fincas, con el objeto de conocer cómo se agrupaban los cafetales con base en las especies presentes de mamíferos.

Para probar nuestra hipótesis de que la mayor diversidad de mamíferos terrestres pequeños y medianos va a encontrarse en fincas con estructuras y manejos más tradicionales (rústico) en contraste con el manejo más intensivo y tecnificado, se aplicó un análisis de regresión múltiple usando el Programa Statistica 7.0 (StatSoft, Inc. 2003), con el Índice de Estructura IEB y las diferentes variables del estrato arbóreo que comprende: riqueza arbórea, densidad, área basal y altura promedio de plantas leñosas (Capítulo 4), con el Índice de Manejo IIB, (Capítulo 2), así como con variables del paisaje como el Índice de Calidad, porcentaje de áreas abiertas, porcentaje de áreas con sombra densa, porcentaje de áreas con sombra incipiente y porcentaje de áreas con sombra intermedia (Capítulo 19), y utilizando como variables de respuesta la riqueza de mamíferos pequeños y medianos, así como la riqueza ajustada. Se hicieron también correlaciones de Spearman con todas las variables incluyendo el tamaño de la finca. Finalmente se hicieron ANOVAS de dos factores para analizar si había diferencias en cuanto a los nichos ecológicos de los mamíferos en las distintas fincas considerando los tipos de locomoción y alimentación.

RESULTADOS Y DISCUSION

El éxito de captura (Cuadro 12.2) en relación con los pequeños mamíferos promedió 2.19% (98 individuos

capturados en 4320 noches-trampa), mientras que para los mamíferos medianos, con trampas fue alrededor del 14% (95 capturas durante 640 noches-trampa), y con cámaras automatizadas del 13% (32 fotografías durante 240 noches-cámara). En cuanto a los resultados del modelo Mao-Tau de acumulación de especies, se aprecia que aún no llega la curva a la asíntota con los 9 sitios (Figura 12.1), lo cual sugiere que aún nos hacen falta más muestreos para registrar todas las especies de mamíferos presentes en estos sitios.

Se registraron en total 33 especies de mamíferos pequeños y medianos (4 marsupiales, 2 desdentados, 14 roedores, 1 lagomorfo, y 12 carnívoros), que representa el 60% de los 55 mamíferos terrestres no voladores que han sido reportados para el bosque mesófilo de la zona de acuerdo con Hall y Dalquest (1963), Hall (1981; Apéndice 12.1). De las 22 especies de pequeños mamíferos presentes en el pasado, únicamente se registraron 9 (41%), mientras que de 33 especies de mamíferos medianos se registraron 24 (72%, Apéndice 12.1). El número de mamíferos pequeños capturados corresponde a lo registrado en un estudio intensivo de la riqueza de roedores en fragmentos de bosque mesófilo en esta misma región (Ruan-Tejeda 2006). Las especies de mayor distribución fueron: los ratones (*Peromyscus aztecus*, *Oryzomys alfaroi* y *Oligoryzomys fulvescens*); y entre las raras estuvieron: el ratón tlacuache (*Marmosa mexicana*), y los ratones *Microtus quasiater* y *Reithrodonthomys mexicanus*.

Las especies de mamíferos medianos mejor representadas en los cafetales son: tlacuache (*Didelphis marsupialis*), armadillo (*Dasybus novemcinctus*), conejo (*Sylvilagus floridanus*) y zorra (*Urocyon cinereoargenteus*). Entre las especies raras están el chupamiel o brazofuerte (*Tamandua mexicana*), el grisón (*Galictis vittata*) y el yagouarondi (*Puma yagouarondi*). Las especies que ya han desaparecido del bosque original son principalmente carnívoros: la nutria (*Lontra longicaudis*) que cabe hacer la aclaración que su presencia siempre está asociada a ríos, el ocelote (*Leopardus pardalis*), el zorrillo cadeno (*Conepatus leuconotus*) y el viejo de monte (*Eira barbara*); así como los ungulados tales como el jabalí de collar (*Pecari tajacu*) y el temazate (*Mazama temama*); y entre los primates el mono araña (*Ateles geoffroyi*).

La diversidad alfa en las fincas varió de 9 a 23 especies (Figura 12.2), siendo los grupos con mayor número de especies los roedores (14) y los carnívoros (12). Además, la riqueza de mamíferos medianos fue mucho mayor en las fincas con menor manejo, a

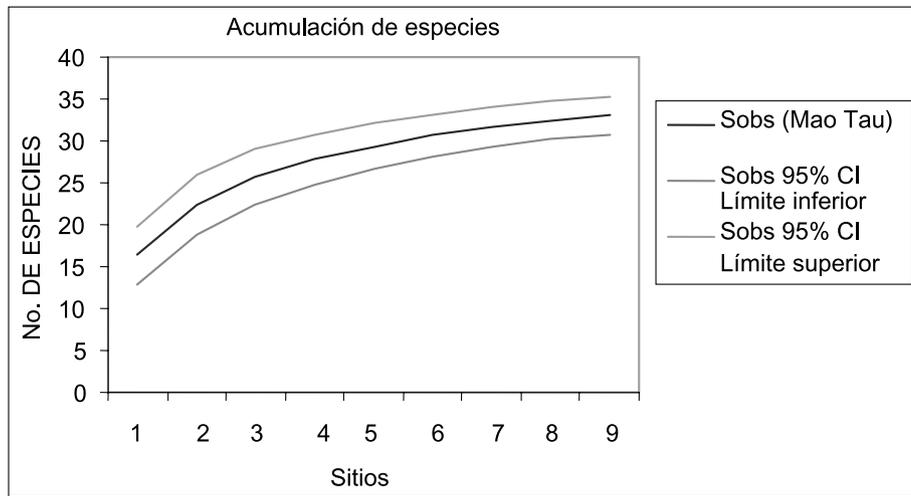


Figura 12.1. Curva de acumulación de especies con el modelo Mao-Tau obtenida mediante el programa EstimateS 8.0 (Colwell 2006).

diferencia de los mamíferos pequeños. En las regresiones múltiples corridas con las variables del Cuadro 12.3, sólo la riqueza de mamíferos medianos presenta una regresión negativa significativa: $R^2 = 0.989$, $F = 35.04$, g.l. = 5,2 $P = 0.028$ (Figura 12.3), siguiendo el gradiente de manejo de las fincas según el IIB, lo cual indica la relevancia que tiene el manejo como un factor negativo para la presencia de los mamíferos medianos. La riqueza de mamíferos pequeños tuvo una regresión lineal no significativa ($R^2 = 0.70$, $P = 0.58$), incluso cuando se utiliza la riqueza ajustada. Este resultado es algo sorprendente dado los ámbitos hogareños más pequeños y el contacto más intensivo de este grupo con el estrato de hierbas, donde se aplican la mayor parte de los agroquímicos, y por lo que se esperaría que este grupo fuera más sensible a la intensificación del manejo dentro de las fincas de café. Los resultados del Capítulo 20 también sugieren que los mamíferos pequeños tienen un número desproporcionado de especies que son sensibles a la intensificación del manejo, y por eso pueden ser buenas especies indicadoras. Sin embargo, Ruán-Tejeda (2006) menciona la posibilidad de que, habiendo cruzado un umbral de fragmentación en el centro del estado de Veracruz (*sensu* Andrén 1994), la diversidad de mamíferos pequeños ha caído notablemente, dejando solamente las especies poco sensibles a cambios en la estructura y manejo de la vegetación remanente. El mayor número de especies de mamíferos pequeños se encontró en MTZ (6), aunque representa una de las fincas más tecnificadas, mientras que el

mayor número de especies de mamíferos medianos se encontró en las fincas donde el estrato arbóreo presentó un mayor número de especies, así como más especies de árboles nativos: CAÑ (19) y MIR (21) (Cuadros 12.1 y 12.3), aunque no se encontró una relación significativa. Esto puede indicar la importancia, que puede ser relevante, de la diversificación de los árboles de sombra, si se desea conservar un mayor número de especies de mamíferos medianos ya que permiten que existan más gremios.

En nuestro trabajo, al considerar las diferentes variables del paisaje, así como el tamaño de las fincas y la riqueza de mamíferos pequeños y medianos (incluyendo la riqueza ajustada), y hacer una correlación de Spearman con ellas (Índice de Calidad y porcentaje de los 4 tipos de sombra), se presentó una correlación significativa sólo con la riqueza de mamíferos medianos, siendo ésta negativa con el Índice de Calidad ($R = -0.934$) y con la sombra densa ($R = -0.838$) y positiva ($R = 0.766$) con las áreas abiertas. Si utilizamos la riqueza ajustada de mamíferos medianos (que sólo toma en cuenta las especies capturadas), existe una correlación positiva significativa con el número de árboles en el cafetal ($R = 0.795$). Esto puede ser explicado en el sentido de que posiblemente las fincas cafetaleras que presentaron una mayor riqueza, con un menor manejo, y que presentaron un Índice de Calidad más bajo, con un mayor porcentaje de áreas abiertas, están sirviendo de refugio a muchas especies de mamíferos medianos, haciendo entonces más rele-

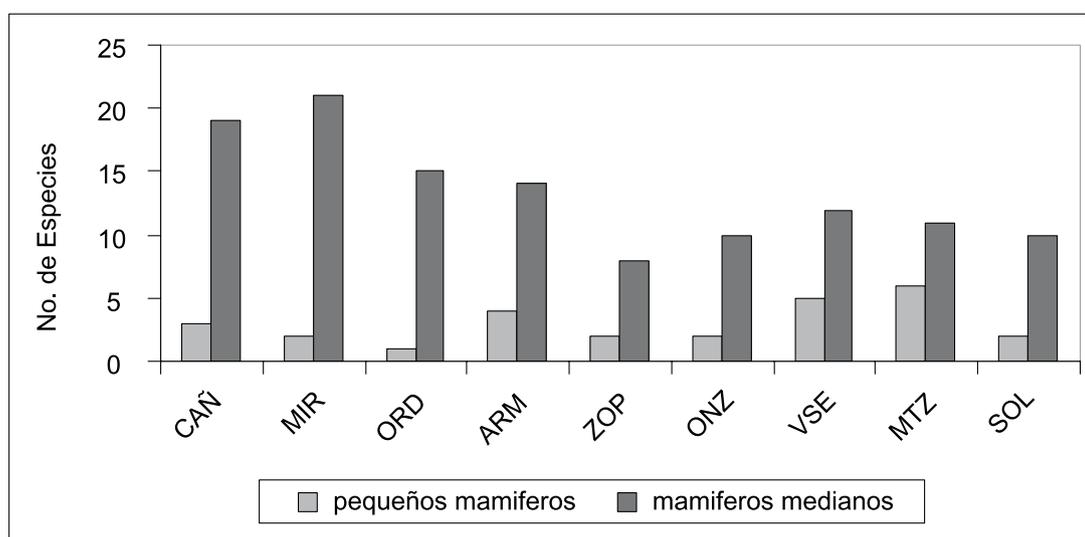


Figura 12.2. Riqueza de especies de mamíferos en las diferentes fincas cafetaleras, siguiendo el gradiente de manejo (desde los bosques, pasando por cafetales rústicos hasta el de sol).

Cuadro 12.3. Riqueza de especies de mamíferos pequeños y medianos y las variables del estrato arbóreo de las fincas cafetaleras (Capítulo 4), el Índice de manejo IIB (Capítulo 2), y el Índice de Calidad del Paisaje IC (Capítulo 20) utilizados para las regresiones y correlaciones.

SITIO	Peq Mam	Med Mam	No.Ind Árboles	Riqueza Árboles	Dens/ha	Área Basal (m ² /ha)	Alt Media (m)	Alt Máx (m)	IIB	IC
MIR	2	21	177	37	132	17.1	12.4	25	0	276.6
ORD	1	15	175	17	142	12.9	10.9	25	0.32	206.6
ARM	4	14	183	20	150	28.2	10.1	23	0.22	279.6
ZOP	2	8	147	21	120	21.3	10.8	24	0.85	309.8
ONZ	2	10	207	29	168	12.6	7.3	25	1	299.4
VSE	5	12	322	13	262	7.7	5.5	10	0.58	282.1
MTZ	6	11	122	7	166	3.8	4.2	11	0.64	295.1
SOL	2	10	0	0	0	0	0	0	0.34	294.1

vante el papel de los cafetales de este tipo en cuanto a la conservación.

En el trabajo realizado por García-Burgos (2007) durante un año de muestreo con 3 técnicas para registrar mamíferos medianos en 6 de las fincas cafetaleras del proyecto Biocafé, encuentra resultados diferentes a este trabajo, ya que demuestra que acepta la hipótesis de que los cafetales con mayor complejidad estructural son los que tienen más riqueza de mamíferos medianos, ya que se observaron correlaciones significativas y positivas con la riqueza de la vegetación leñosa, con la altura del dosel, y con el IEB (Índice de Estructuras Biofísicas). Con el manejo, es decir, con

el IIB (Capítulo 2) no hubo correlación significativa, aunque sí negativa. Tres de las variables consideradas, presentaron correlaciones positivas con la riqueza de mamíferos medianos: la riqueza de la vegetación leñosa (especies nativas y exóticas), la altura del dosel y el IEB. Esto se debe a que al existir una mayor riqueza vegetal, y una mayor altura del dosel, y en general más estructuras biofísicas, se incrementan los nichos potenciales para proporcionar más recursos alimenticios, refugios, protección y escape. También encontró que la configuración del paisaje (utiliza otros valores que obtiene de una imagen de satélite LANDSAT 7 del año 2000 dentro de un buffer de 2 km a la redonda

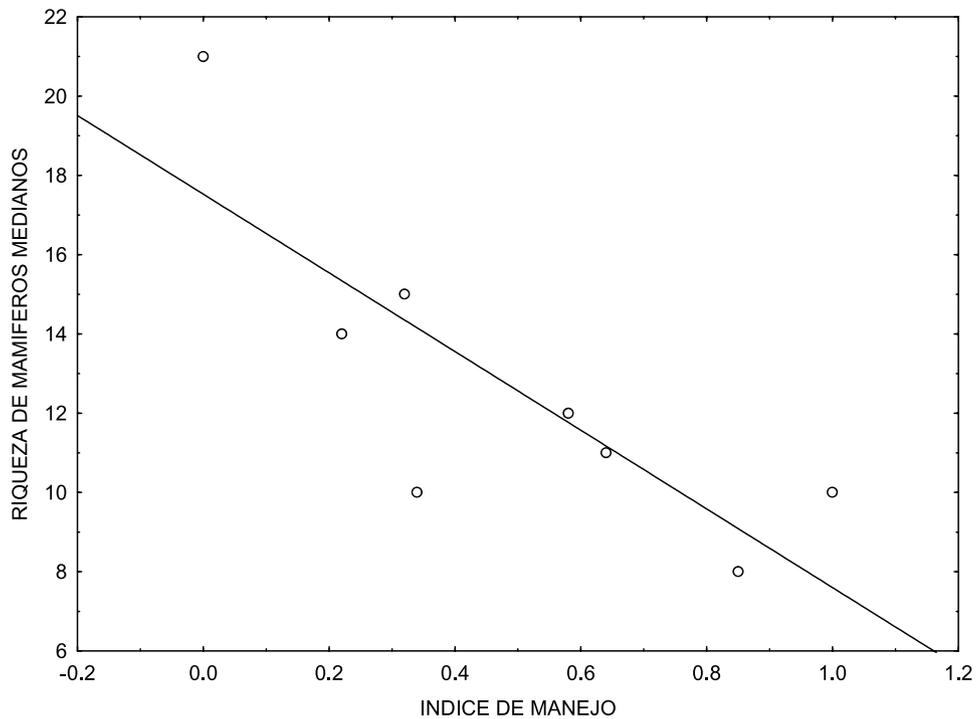


Figura 12.3. Relación negativa significativa entre el Índice de Manejo y la riqueza de mamíferos medianos ($R^2 = 0.989$, R^2 ajustada = 0.96, $p = 0.028$, $\beta = -.84$).

del cafetal) afecta la riqueza de mamíferos medianos, siendo mayor cuando existe mayor heterogeneidad espacial. Los datos sugieren que la población humana total y el porcentaje de zonas abiertas están afectando negativamente a los mamíferos medianos, mientras que las zonas con sombra incipiente (diversos cultivos y acahuals jóvenes), y la entremezcla de hábitat, los benefician. Un alto nivel de entremezcla de tipos de parches o coberturas, puede favorecer a ciertas especies. A mayor diversidad de hábitat se puede esperar una mayor diversidad faunística, o sea, mayor diversidad beta. La heterogeneidad espacial es un elemento crítico para el mantenimiento de los procesos ecosistémicos. De acuerdo con las características del paisaje consideradas, la zona puede dividirse en dos grupos: la zona Huatusco, que está más conservada, y tiene mayor valor para la conservación de mamíferos medianos, mientras que la zona de Coatepec-Teocelo tiene más impacto humano, por densidad de población y densidad de caminos.

Al comparar la riqueza de especies de las diferentes fincas con el fragmento del bosque mesófilo (CAÑ), mediante pruebas de t pareadas, se encontró que existen diferencias significativas ($P < 0.05$) con

sólo cuatro de las fincas que se encuentran en la zona de Coatepec-Xalapa: ORD, ONZ, ZOP y SOL. Este resultado indica que los cafetales de la zona de Huatusco mantienen una riqueza más similar a la del fragmento de bosque estudiado y, por lo tanto, una mayor riqueza de mamíferos. La mayor similitud de riqueza observado entre fincas de café y un fragmento de bosque que se encuentran en la misma zona (Huatusco) podría estar relacionado con la gran complementariedad de especies leñosas que muestran los fragmentos de bosque mesófilo de montaña de esta misma región (Williams-Linera 2002, Capítulo 4), lo cual podría afectar a su vez la diversidad de animales que dependen de ellas.

Esta conclusión está apoyada por el dendrograma obtenido con los datos de presencia-ausencia de las especies de mamíferos (Figura 12.4), donde se presentan dos grupos claramente separados: los de las fincas de la zona de Huatusco, donde se encuentra el fragmento de bosque mesófilo, *versus* con el resto de las fincas de la zona Coatepec-Teocelo. Además se resalta en la zona de Huatusco la similitud que tienen el fragmento de bosque mesófilo (CAÑ) con la finca el Mirador (MIR), y una mayor diferencia de éstas con

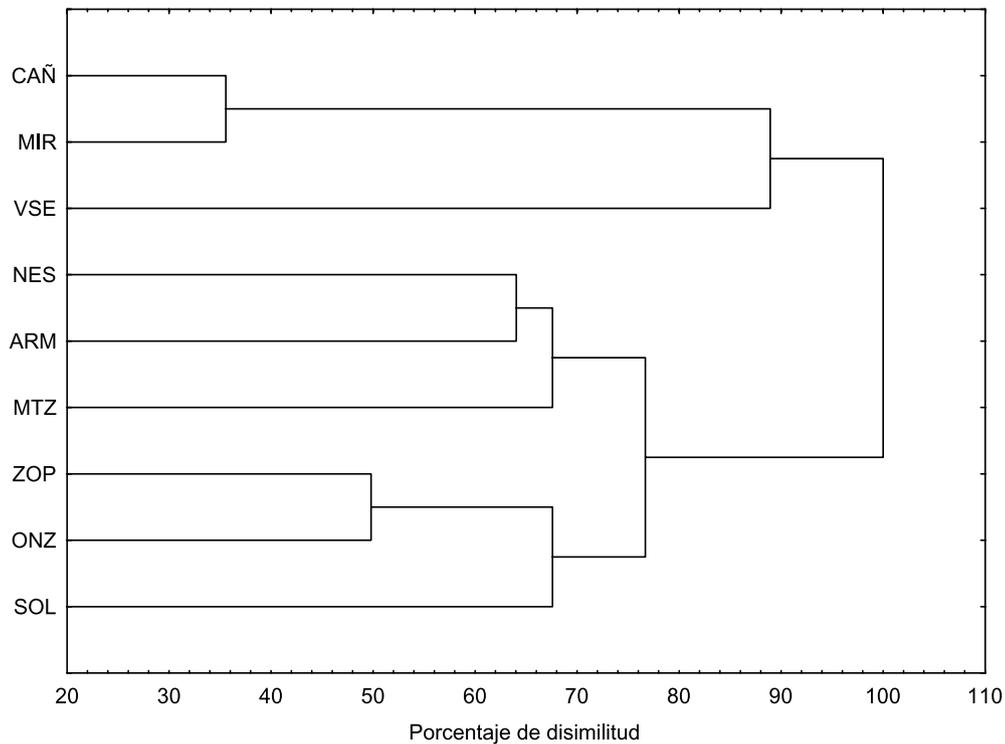


Figura 12.4. Dendrograma que muestra la agrupación de las fincas de acuerdo con las especies de mamíferos que presentan. El método de agrupamiento fue el de UPGA (Unweighted Pair-Group Average) mediante el porcentaje de disimilitud.

la finca La Vequia (VSE). Por otro lado, en la zona de Coatepec-Teocelo, se distinguen dos grupos: los formados por las fincas ORD, ARM y MTZ, siendo esta última la más diferente; y el grupo formado por las fincas ZOP, ONZ y SOL, donde también esta última es la que más difiere.

Vasquez *et al.* (2000) trabajando en el estado de Jalisco, México, no encontraron diferencias en la diversidad de pequeños mamíferos en hábitat prístinos (6 especies) *versus* hábitat perturbados de bosque mesófilo (10-15 años; 6 especies) compartiendo el 83% de las especies de pequeños mamíferos, aunque en nuestro estudio se encontró que existen cafetales cuya presencia de mamíferos difiere significativamente con el fragmento de bosque mesófilo que se usó de comparación. En la selva perennifolia de la Lacandona, Chiapas, Cruz-Lara *et al.* (2004) no encontraron tampoco diferencias en la diversidad media de pequeños mamíferos al compararlos con cafetales de sombra, mientras que Muñoz *et al.* (2000) en la Reserva de la Biosfera “El Triunfo”, Chiapas, registraron una caída de la diversidad del 66% en los cafetales (4 especies en comparación con 12 especies del bosque mesófi-

lo). Este contraste encontrado en Chiapas puede ser explicado por las diferentes estrategias de manejo en las fincas de café. Los cafetales cercanos a las selvas de La Lacandona (21 especies de árboles y 87.5% de cobertura de sombra) se caracterizan por un manejo rústico, mientras que en la Reserva “El Triunfo” (1 especie de árbol de sombra, 40-50% de cobertura) están más tecnificados, simplificados y enfocados a un incremento en la productividad, y por eso representan transiciones más marcadas de hábitat.

En un trabajo similar al presente que compara la diversidad de mamíferos en cafetales y en selva mediana de las Cañadas de la Selva Lacandona, Chiapas, México (Cruz-Lara *et al.* 2004), se registraron 953 individuos de 54 especies de mamíferos: 31 especies del orden Chiroptera y 13 especies del orden Rodentia. En cuanto a mamíferos medianos, el esfuerzo total de captura fue de 825 trampas/noche con un éxito de captura promedio de 3.58%, registrándose 7 especies en cafetales de las 14 encontradas en la selva mediana. Como vemos, en nuestro estudio se registraron más especies, con un mayor éxito de captura (14%), lo que puede ser un indicador de que las fincas muestreadas,

o el paisaje en que se encuentran, aún mantienen una comunidad importante de mamíferos.

En cuanto al tipo de locomoción (Cuadro 12.4; Figura 12.5), los mejor representados fueron las especies de hábitos terrestres (alrededor del 50%), en cambio, los arborícolas presentaron mayor porcentaje en CAÑ y MIR, que son los sitios que presentan el estrato arbóreo más diverso, además de que tuvieron un mayor número de especies terrestres (Figura 12.5). Las especies escansoriales o semi-arborícolas estuvieron menos representadas en número en ZOP y ONZ, aunque no se aprecia ningún patrón. El ANOVA de dos factores con una sola muestra por grupo fue significativa tanto entre fincas ($F = 2.93$; g.l. = 8,3; $P = 0.02$) como entre los tipos de locomoción ($F=40.167$; g.l. = 8,3; $P<0.0001$). En lo general, hubo mayor diversidad de tipos de locomoción en los sitios menos perturbados.

En relación con el tipo de forrajeo, los frugívoro-omnívoros (aproximadamente el 30%) fueron los mejor representados en la mayoría de las fincas (Cuadro 12.4; Figura 12.6), lo que nos revela la importancia de mantener en las fincas árboles que produzcan frutos comestibles si queremos mantener sobre todo la biodiversidad de mamíferos medianos. Los carnívoros presentaron una mayor riqueza de especies en las fincas con menor manejo, lo que puede indicar que es un grupo más susceptible, o que tiene una mayor presión por parte de la población humana. El ANOVA mostró diferencias significativas tanto en cafetales ($F = 3.246$; g.l. = 8,6; $P = 0.005$) como en los tipos de alimentación ($F = 22.423$; g.l. = 8,6; $P < 0.0001$).

Si consideramos el número de gremios de tipos de locomoción y alimento juntos (Cuadro 12.5), vemos que CAÑ (13) y la finca MIR (12) son las que mostraron los mayores valores, teniendo también la mayor riqueza de especies (22 y 23, respectivamente), lo que muestra que la zona de Huatusco está conservando una mayor diversidad de nichos ecológicos, que las fincas de la zona de Coatepec-Xalapa, lo que puede deberse a diferentes factores, entre ellos una mayor presión humana y por lo tanto también de cacería, ya que la densidad poblacional es mayor en esta última. En cuanto a la diversidad ecológica, ésta varió de 1.45 en la ONZ (Zona Coatepec-Xalapa) a 1.81 en CAÑ (Zona Huatusco), no siendo significativas las diferencias encontradas (Cuadro 12.5).

Al tomar en cuenta el criterio de similitud de Sánchez y López (1988) que establece que para que dos

faunas puedan considerarse similares deben sobrepasar un 66.6% de similitud, entonces se puede decir que las comunidades de mamíferos medianos que son similares en este estudio fueron: CAÑ y MIR, ambos sitios en Huatusco, y el primero representando los bosques mesófilos (Cuadro 12.6). Nuestros resultados muestran que hay fincas, como MIR, que presentó el 80% de similitud de especies con el sitio de bosque mesófilo (CAÑ), aunque presentó una mayor riqueza (23 especies en comparación con 22), tal vez debido a que este bosque mesófilo se encuentra en regeneración y bajo protección desde hace 15 años y por lo tanto, muchos mamíferos han desaparecido. Hay otras fincas, como ZOP, que únicamente se registraron 9 especies.

Los resultados en cuanto a la Diversidad Beta obtenida por el Índice de Complementariedad (Cuadro 12.7) que muestran los sitios que se encuentran en la zona de Huatusco (CAÑ, MIR y VSE) complementan la riqueza de mamíferos que se encuentran en la zona Coatepec-Xalapa, sobre todo con las fincas ZOP, ONZ y SOL, siendo los valores superiores al 60%. Esto nos indica que para fines de conservación de los mamíferos es importante tratar de que se mantengan los agroecosistemas cafetaleros en ambas zonas si queremos proteger el mayor número de especies aunque se comprobó que el tipo de manejo sí ejerce un efecto negativo para la presencia de mamíferos medianos, así como la calidad del paisaje.

La cacería desmedida parece ser uno de los principales factores que está determinando la pérdida acelerada de especies de mamíferos medianos en los cafetales, ya que la mayoría de las veces que se visitaron las fincas nos encontramos con “cazadores”, y esto se pudo comprobar en un estudio realizado mediante encuestas a 77 cazadores activos de la región (Liliana Tlapaya, com. pers.) que la presión que se está ejerciendo sobre los mamíferos medianos es elevada. La cacería que se ejerce no es del tipo deportivo reglamentado ni solo de “subsistencia”, sino de “placer”, por el sólo hecho de matar animales. Este estudio nos indica que las especies más cazadas son: el armadillo (35% en las dos zonas Huatusco y Coatepec-Teocelo), el tlacuache (*D. virginiana*) constituyó el 29 y 11%, respectivamente, y el conejo (6 y 32%). Pero el problema es aún más serio si se consideran los métodos de caza, ya que la mayoría utiliza perros no especializados, que matan cualquier animal y algunos los dejan malheridos como se constató con los tlacuaches capturados en nuestro

Cuadro 12.4. Lista de mamíferos pequeños (*) y medianos según el tipo de locomoción: A = arborícola, E = escansorial, T = terrestre, F = fosorial, y tipo forrajeo: H-P = herbívoro-pastador, H-G = herbívoro-granívoro, F-G = frugívoro-granívoro, F-O = frugívoro-omnívoro, I-O = insectívoro-omnívoro, M = mirmecófago, C = carnívoro, de acuerdo con Robinson y Redford (1986).

	Nombre común	Locomoción	Forrajeo	Peso (g)
Orden Didelphimorphia				
<i>Marmosa mexicana</i>	Ratón tlacuache	A	I-O	31
<i>Didelphis marsupialis</i>	Tlacuache	E	F-O	1041
<i>Didelphis virginiana</i>	Tlacuache	E	F-O	2300
<i>Philander opossum</i>	Chipe	T	I-O	400
Orden Cingulata				
<i>Dasybus novemcinctus</i>	Tochi o armadillo	T	I-O	3544
<i>Tamandua mexicana</i>	Chupamiel o brazofuerte	A	M	4210
Orden Rodentia				
<i>Baiomys musculus</i> (*)	Ratón pigmeo del sur	T	H-G	10
<i>Microtus quasiater</i> (*)	Metorito de Xalapa	T	H-P	28
<i>Oryzomys alfaroi</i> (*)	Rata arrocera	T	H-G	32
<i>Oligoryzomys fulvescens</i> (*)	Rata arrocera pigmea	T	I-O	14
<i>Peromyscus aztecus</i> (*)	Ratón azteca	T	I-O	39
<i>Peromyscus furvus</i> (*)	Ratón negro	E	H-G	50
<i>Reithrodontomys mexicanus</i> (*)	Ratón cosechador mexicano	E	H-G	16
<i>Rattus rattus</i> (*)	Rata negra o de los tejados	E	I-O	125
<i>Sciurus aureogaster</i>	Ardilla	A	F-G	338
<i>Sciurus deppei</i>	Ardilla	A	F-G	220
<i>Orthogeomys hispidus</i>	Tuza	F	H-P	
<i>Sphiggurus mexicanus</i>	Viztlacuache o puerco espín	A	F-G	1000
<i>Dasyprocta mexicana</i>	Cuaqueche	T	F-G	3600
<i>Cuniculus paca</i>	Tepezcuintle o tuza real	T	F-G	8227
Orden Lagomorpha				
<i>Sylvilagus floridanus</i>	Conejo	T	H-P	1025
Orden Carnivora				
<i>Canis latrans</i>	Coyote	T	C	10000
<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	Zorra	T	F-O	5500
<i>Puma yagouaroundi</i>	Yaguarundi u onza real	T	C	5000
<i>Leopardus wiedii</i>	Tigrillo o gato montés	A	C	3500
<i>Mephitis macroura</i>	Zorrillo	T	I-O	2500
<i>Galictis vittata</i>	Grisón	T	C	2910
<i>Mustela frenata</i>	Comadreja u onzita	T	C	450
<i>Potos flavus</i>	Martucha	A	F-O	2490
<i>Bassariscus astutus</i>	Sietillo o cacomixtle	E	F-O	1200
<i>Bassariscus sumichrasti</i>	Sietillo o cacomixtle	E	F-O	1400
<i>Nasua narica</i>	Tejón	E	F-O	3880
<i>Procyon lotor</i>	Mapache	E	F-O	8850

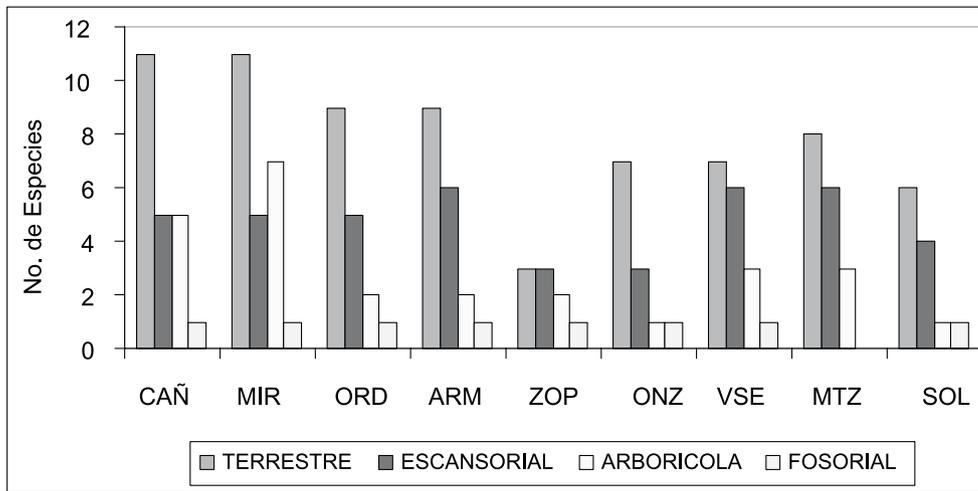


Figura 12.5. Número de especies de acuerdo con el tipo de locomoción en el gradiente de manejo de las fincas cafetaleras.

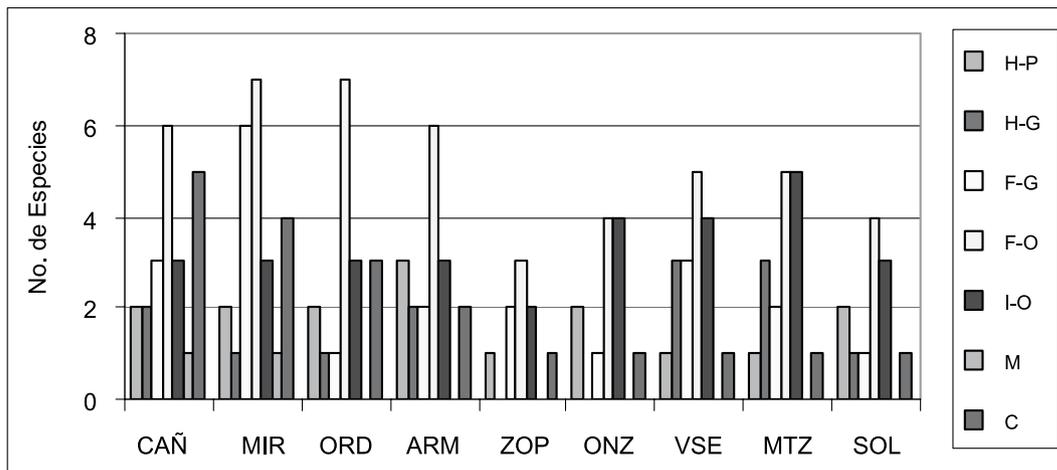


Figura 12.6. Número de especies de acuerdo con el tipo de alimentación en el gradiente de manejo de las fincas cafetaleras. H-P = Herbívoro-Pastador, H-G = Herbívoro-Granívoro, F-G = Frugívoro-Granívoro, F-O = Frugívoro-Omnívoro, I-O = Insectívoro-Omnívoro, M = Mirmecófago, C = Carnívoro.

Cuadro 12.5. Datos de los mamíferos en los distintos cafetales, considerando los gremios definidos por el tipo de locomoción y forrajero (según Robinson y Redford 1986).

	CAÑ	MIR	ORD	ARM	ZOP	ONZ	VSE	MTZ	SOL
Gremios	13	12	9	9	5	7	9	9	8
Riqueza	22	23	17	18	9	12	17	17	12
Diversidad	1.81	1.77	1.56	1.70	1.52	1.45	1.65	1.61	1.63
Equitatividad	0.71	0.71	0.71	0.77	0.94	0.75	0.75	0.73	0.78

Cuadro 12.6. Número de especies compartidas en el triángulo superior y el Índice de Similitud de Jaccard en el triángulo inferior. En negritas los más parecidos.

	CAÑ	MIR	ORD	ARM	ZOP	ONZ	VSE	MTZ	SOL
CAÑ		20	14	14	7	9	13	13	9
MIR	0.80		15	14	8	9	14	12	9
ORD	0.56	0.60		11	8	10	11	12	10
ARM	0.54	0.52	0.46		8	9	13	13	8
ZOP	0.29	0.33	0.44	0.42		7	6	7	6
ONZ	0.36	0.35	0.53	0.43	0.50		7	9	7
VSE	0.50	0.54	0.44	0.59	0.30	0.32		10	7
MTZ	0.50	0.43	0.55	0.59	0.37	0.45	0.42		9
SOL	0.36	0.35	0.53	0.37	0.40	0.41	0.32	0.45	

Cuadro 12.7. Diversidad beta o complementariedad de la riqueza de especies de mamíferos (%) de las diferentes fincas cafetaleras del centro de Veracruz, México. En negritas las que son significativas.

	MIR	ORD	ARM	ZOP	ONZ	VSE	MTZ	SOL
CAÑ	20	44	46	71	64	50	50	64
MIR		29	35	67	65	46	57	65
ORD			54	56	47	56	45	47
ARM				43	57	41	41	64
ZOP					50	70	63	60
ONZ						68	55	59
VSE							58	68
MTZ								55

estudio (44 en total), de los cuales más del 30% tenían heridas serias recientes y/o cicatrizadas. No existe ningún control de la gente que entra a cazar a las fincas en cualquier época del año, pudiendo llevarse todos los animales que quieran. De ahí que se necesite tomar medidas urgentes para controlar, por un lado la entrada de cazadores, y por otro, el uso de perros de manera indiscriminada. Así también, los perros y gatos “vagabundos” que entran a las fincas sin control y cuyo impacto en la fauna aún no ha sido evaluado aquí, pero en otros países se ha comprobado su efecto negativo como depredadores (Atkinson 1989).

En los cafetales que presentan estrato arbóreo diverso (sobre todo los rústicos) aún se encuentran mamíferos que están en alguna categoría de riesgo, lo cual incrementa el valor, desde un punto de vista de la conservación, que tienen estos agroecosistemas que pueden conservar la biodiversidad de mamíferos. Las

especies de mamíferos medianos que se encuentran protegidas por el CITES (Wilson y Reeder 2005) son: el yaguarundi u onza real, *Puma yagouaroundi* (también reconocida por la IUCN y la NOM 059-SEMARNAT-2001 (2002) como especie amenazada), el tigrillo *Leopardus wiedii* considerada en el Apéndice I y el brazo fuerte o chupamiel, *Tamandua mexicana* en el Apéndice III. Estas dos últimas especies consideradas en peligro de extinción por las leyes mexicanas. El viztlacuache, *Sphiggurus mexicanus* y el grisón *Galictis vittata* se encuentran amenazadas en México. La martucha, *Potos flavus* y el sietillo o cacomixtle, *Bassariscus sumichrasti*, también son especies sujetas a protección especial. De los pequeños mamíferos, el metorito endémico *Microtus quasiater* está en la categoría “bajo protección especial”, por lo que los cafetales pueden considerarse como un refugio importante para mantener aún a la especie, aunque únicamente se capturó en una de las fincas.

RECOMENDACIONES

- Si se busca conservar la mayor diversidad de especies de mamíferos es importante que se conserven los cafetales con sus distintos sistemas de manejo, aunque los cafetales rústicos que mantienen un estrato arbóreo más diverso presentaron más especies, así como gremios y constituyen un mejor sistema ecológico, ya que proporcionan más refugios, así como más tipos de alimento.
- También el uso de plaguicidas deberá controlarse ya que creemos que se está afectando seriamente la presencia de mamíferos, sobre todo la de mamíferos medianos.
- En cuanto a los mamíferos medianos, la cacería es otro factor que está afectando seriamente la presencia de ellos, por lo que sería muy recomendable que existiera una mayor vigilancia y control sobre la presencia de cazadores y sus perros, así como un programa de concientización sobre la cacería ética.
- Deberá hacerse una campaña de control de perros y gatos vagabundos en las zonas habitadas y en las fincas por razones ecológicas y de salud pública.
- Podemos señalar que además el efecto del paisaje puede ser determinante, ya que los cafetales rodeados de barrancas o de otros cafetales pueden mantener una mayor diversidad de fauna, e incluso las grandes fincas rústicas pueden servir como refugio cuando el paisaje que las rodea no es de alta calidad.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a todos los propietarios de las fincas por habernos permitido hacer los estudios sobre mamíferos. A Eduardo Martínez Leyva, Leticia Cruz Paredes, Allan Muller y Heidi Patricia Medorio García, por su ayuda en la captura de los mamíferos pequeños. También a Lisette Cantú, Aidee Ocegüera, Alberto González Gallina, Jorge García Burgos y Liliana Tlapaya que apoyaron en el trabajo de campo para el muestreo de mamíferos medianos. Agradecemos a los revisores externos: Lorena Soto Pinto y Steve Gliessman por sus comentarios de cómo mejorar el libro en general y nuestro capítulo en particular.

REFERENCIAS

- Aguilar-Ortiz F. 1982. Estudio ecológico de las aves del cafetal. En: Jiménez-Ávila E, Gomez-Pompa A, editores: *Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero*. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México. p. 103-128.
- Aldrich M, Bubbs P, Hostettler S, Van de Wiel H. 2000. Tropical Montane Cloud Forest. A time for action. WWF International/IUCN The World Conservation Union, Cambridge.
- Andrén H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportion of suitable habitat: a review. *Oikos* 71:340-346.
- Atkinson IAE. 1989. Introduced animals and extinction. En: Western D, Pearl MC, editors. Conservation for the twenty-first century. Oxford University Press, New York. p. 54-75.
- August P. 1983. The role of habitat complexity and heterogeneity in structuring tropical mammal communities. *Ecology* 64 (6):1495-1507.
- Bandeira FP, Martorell C, Meave JA, Caballero J. 2005. The role of rustic coffee plantations in the conservation of wild tree diversity in the Chinantec region of Mexico. *Biodiversity and Conservation* 14:1225-1240.
- Challenger A. 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro*. CONABIO-UNAM, Agrupación Sierra Madre, S.C. 847 p.
- Clarke KR. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18:117-143.
- Colwell RK. 2006. *EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples*. Versión 8.0, Persistent URL<purl.oclc.org/estimates>
- Colwell RK, Coddington JA. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society (SeriesB)* 345:101-118.
- CONABIO. 1998. *La diversidad biológica de México: Estudio de País, 1998*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 341 p.
- Cruz-Lara L, Lorenzo C, Soto L, Naranjo E, Ramírez-Marcial N. 2004. Diversidad de mamíferos en cafetales y selva mediana de Las Cañadas de la Selva Lacandona, Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana* (ns) 20(1):63-81.
- Doumenge C, Gilmour D, Ruíz MP, Blockhus J. 1995. Tropical Montane cloud forests: conservation status and management issues. En: Hamilton LS, Juvik JO, Scatena FN, editores. *Tropical Montane Cloud Forests*. Springer-Verlag, Nueva York. p. 24-37.
- Eakin H, Tucker C, Castellanos E. 2006. Responding to the coffee crisis: a pilot study of farmers' adaptations in Mexico, Guatemala and Honduras. *Geogr. J.* 172:156-171.

- Flores Vilella O, Navarro AG. 1993. Un análisis de los vertebrados terrestres endémicos a mesoamérica en México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* (Edición Especial) XLIV:387-395.
- Gallina S, Mandujano S, González-Romero A. 1992. Importancia de los cafetales mixtos para la conservación de la biodiversidad de mamíferos. *Boletín Soc. Ver. Zool.* 2(2):11-17.
- Gallina S, Mandujano S, González-Romero A. 1996. Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of Central Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems* 33:13-27.
- García Burgos J. 2007. *Comparación de la riqueza de mamíferos medianos en un gradiente de manejo de cafetales del centro de Veracruz*. Tesis de maestría en Ciencias (Manejo de Fauna Silvestre). INECOL. 121 pp.
- Gordon C, Manson R, Sundberg J, Cruz-Angon A. 2007. Biodiversity, profitability, and vegetation structure in a Mexican coffee agroecosystem. *Agriculture Ecosystems & Environment* 118:256-266.
- Hall ER. 1981. *The Mammals of North America*. John Wiley & Sons, New York 1:XV + 1-600 + 90 y 2:VI + 601-1118 + 90
- Hall ER, Dalquest WW. 1963. The Mammals of Veracruz. Publ. *University of Kansas Museum of Natural History* 14(14):165-362.
- Halffter G, Moreno C. 2005. Significado biológico de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma. In: Halffter G, Soberón J, Koleff P, Melic A, editores. *Sobre Diversidad Biológica: el significado de las diversidades alfa, beta y gamma*, SEA, CONABIO, DIVERSITAS y CONACYT. p 5-18.
- Hanski I, Gaggiotti OE. 2004. *Ecology, genetics, and evolution of metapopulations*. Elsevier Academic Press, San Diego. 696 p.
- Jiménez-Ávila E. 1979. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero: I Estructura de los cafetales de una finca cafetalera de Coatepec, Ver. México. *Biótica* 4(1):1-12.
- Jiménez-Ávila E, Correa-Peña C. 1980. Producción de materia orgánica en un bosque caducifolio de la zona cafetalera de Xalapa, Ver. México. *Biótica* 5(4):157-167.
- Jiménez-Ávila E, Gómez-Pompa A. 1982. *Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero*. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México. 143 p.
- Magurran AE. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey. 179 p.
- Magurran AE. 2005. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing. Oxford UK. 256 p.
- Manson R, Williams-Linera G, Monroy R. 2004. El bosque de niebla. *Pronatura* 6:32-33.
- Moguel P, Toledo V. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13(1):11-21.
- Muñoz A, Horvath A, Vidal R, Percino R, González E, Zárraga V. 2000. *Efectos de la fragmentación del hábitat sobre la biodiversidad de la Reserva de la Biosfera El Triunfo. Informe Final*. ECOSUR-SIBEJ-TNC. San Cristóbal de Las Casas. México. 77 p.
- Palacio-Prieto JL, Bocco G, Velásquez A. 2000. Technical Note: Current situation of forest resources in Mexico: results of the 2000 National Forest Inventory. Investigaciones Geográficas, *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 43:183-203.
- Perfecto I, Rice R, Greenberg R, Van Der Voort M. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for diversity. *BioScience* 46:598-608.
- Perfecto I, Vandermeer J. 2002. Quality of agroecological matrix in a tropical montane landscape: ants in coffee plantations in southern Mexico. *Conservation Biology* 16:174-182.
- Perfecto I, Mas A, Dietsch T, Vandermeer J. 2003. Conservation of biodiversity in coffee agroecosystems: a tri-taxa comparison in southern Mexico. *Biodiversity and Conservation* 12:1239-1252.
- Pielou EC. 1975. *Ecological Diversity*. John Wiley & Sons, Inc., New York. 165 p.
- Pineda E, Halffter G. 2004. Species diversity and habitat fragmentation: frogs in a tropical landscape in Mexico. *Biological Conservation* 117:449-508.
- Pineda E, Halffter G. 2005. Relaciones entre la fragmentación del bosque de niebla y la diversidad de ranas en un paisaje de Montaña de México. En: Halffter G, Soberón J, Koleff P, Melic A, editores. *Sobre Diversidad Biológica: el significado de las diversidades alfa, beta y gamma*. SEA, CONABIO, DIVERSITAS y CONACYT. p 165-176.
- Potvin, C, Owen, CT, Melzi, S, Beaucage, P, 2005. Biodiversity and modernization in four coffee-producing villages of Mexico. *Ecology and Society* 10, 18. [online] 6 URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art18/>
- Robinson JG, Redford KH. 1986. Body size, diet, and population density of neotropical forest mammals. *American Naturalist* 128(5):665-680.
- Ruán-Tejeda I. 2006. *Efectos de la fragmentación sobre las comunidades de pequeños mamíferos en remanentes de bosque mesófilo de montaña del centro de Veracruz*. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, A.C. 64 p.
- Sánchez O, López G. 1988. A theoretical analysis of some indices of similarity as applied to biogeography. *Folia Entomologica Mexicana* 75:119-145.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Norma Oficial mexicana NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio.

- Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación* 6 marzo 2002. 2-85.
- StatSoft, Inc. 2003. *Statistica for Windows* (data analysis software system), version 7.0
- Vandermeer J, Perfecto I. 2007. The agricultural matrix and a future paradigm for conservation. *Conservation Biology* 21:274-277.
- Wille C. 1994. The birds and the beans. *Audubon* 80:58-64.
- Williams-Linera G. 2002. Tree species richness complementarity, disturbance and fragmentation in a Mexican tropical montane cloud forest. *Biodiversity and Conservation* 11:1825-1843.
- Williams-Linera G, López-Gómez AM, Muñiz-Castro MA. 2005. Complementariedad y patrones de anidamiento de especies de árboles en el paisaje de bosque de niebla del centro de Veracruz (México). En: Halffter G, Soberón J, Koleff P, Melic A, editores. *Sobre diversidad biológica: el significado de las diversidades alfa, beta y gamma*. CONABIO, SEA, DIVERSITAS, CONACYT. p. 153-164.
- Wilson DE, Reeder DM, Editors. 2005. *Mammal Species of the World: a taxonomic and geographic reference* (Third Edition). The John Hopkins University Press. Baltimore. Maryland. 2142 p.

APÉNDICE 12.1. MAMÍFEROS PEQUEÑOS Y MEDIANOS DEL BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA Y CAFETALES CON DISTINTO MANEJO. LA PRESENCIA DE LAS ESPECIES SE VERIFICÓ A TRAVÉS DE TRAMPEOS, USO DE CÁMARAS TRAMPA, REGISTRO DE HUELLAS Y PLÁTICAS CON LOS ADMINISTRADORES DE LAS FINCAS. F = FRECUENCIA. EL ORDEN DE LAS FINCAS REPRESENTA EL GRADIENTE DE INTENSIFICACIÓN DEL MANEJO (DE MENOR A MAYOR).

Especies del bosque	CAÑ	MIR	ORD	ARM	ZOP	ONZ	VSE	MTZ	SOL	F
Marsupiales										
<i>Marmosa mexicana</i>	-	-	-	-	-	-	-	X	-	1
<i>Didelphys marsupialis</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	9
<i>Didelphys virginiana</i>	-	X	X	X	X	X	X	-	-	6
<i>Philander opossum</i>	-	-	X	X	-	X	-	X	-	4
Edentados										
<i>Dasybus novemcinctus</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	9
<i>Tamandua mexicana</i>	X	X	-	-	-	-	-	-	-	2
Insectívoros										
<i>Cryptotis mexicana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sorex macrodon</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Roedores										
<i>Baiomys musculus</i>	-	-	-	X	-	-	X	-	-	2
<i>Microtus quasiater</i>	-	-	-	X	-	-	-	-	-	1
<i>Neotoma mexicana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nyctomys sumichrasti</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oryzomys couesi</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oryzomys melanotis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oryzomys alfaroi</i>	X	X	X	-	-	-	X	X	-	5
<i>Oligoryzomys fulvescens</i>	-	-	X	-	X	X	-	X	X	5
<i>Peromyscus leucopus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Peromyscus mexicanus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Peromyscus simulatus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Peromyscus aztecus</i>	X	X	-	X	-	X	X	X	-	6
<i>Peromyscus furvus</i>	X	-	-	X	-	-	X	X	-	4
<i>Reithrodontomys fulvescens</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Reithrodontomys mexicanus</i>	-	-	-	-	-	-	-	X	X	2
<i>Sigmodon hispidus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mus musculus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rattus norvegicus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rattus rattus</i>	-	-	-	-	-	-	X	-	-	1
<i>Sciurus aureogaster</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	9
<i>Sciurus deppei</i>	-	X	-	-	-	-	X	-	-	2
<i>Spermophilus variegatus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Orthogeomys hispidus</i>	X	X	X	X	X	X	X	-	X	8
<i>Sphiggurus mexicanus</i>	X	X	-	X	X	-	X	X	-	6
<i>Dasyprocta mexicana</i>	X	X	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>Cuniculus paca</i>	-	X	-	-	-	-	-	-	-	1
Lagomorfos										
<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sylvilagus floridanus</i>	X	X	X	X	-	X	-	X	X	7
Carnívoros										
<i>Canis latrans</i>	X	X	X	X	X	-	-	X	X	7
<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	X	X	X	X	-	X	X	X	X	8
<i>Puma yagouaroundi</i>	X	X	-	-	-	-	-	-	-	2

APÉNDICE 12.1. MAMÍFEROS PEQUEÑOS Y MEDIANOS DEL BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA Y CAFETALES CON DISTINTO MANEJO. LA PRESENCIA DE LAS ESPECIES SE VERIFICÓ A TRAVÉS DE TRAMPEOS, USO DE CÁMARAS TRAMPA, REGISTRO DE HUELLAS Y PLÁTICAS CON LOS ADMINISTRADORES DE LAS FINCAS. F = FRECUENCIA. EL ORDEN DE LAS FINCAS REPRESENTA EL GRADIENTE DE INTENSIFICACIÓN DEL MANEJO (DE MENOR A MAYOR). (CONTINUACIÓN)

Especies del bosque	CAÑ	MIR	ORD	ARM	ZOP	ONZ	VSE	MTZ	SOL	F
<i>Leopardus pardalis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Leopardus wiedii</i>	X	X	X	-	-	-	-	-	-	3
<i>Lontra longicaudis</i>	X	X	X	-	-	-	-	-	-	3
<i>Conepatus leuconotus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mephitis macroura</i>	X	X	X	-	-	-	X	-	X	5
<i>Eira barbara</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Galictis vittata</i>	X	-	-	-	-	X	-	-	-	2
<i>Mustela frenata</i>	X	X	X	X	-	-	X	-	-	5
<i>Potos flavus</i>	X	X	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>Bassariscus astutus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	X	1
<i>Bassariscus sumichrasti</i>	X	X	X	X	X	X	-	X	-	7
<i>Nasua narica</i>	X	X	X	X	-	-	X	X	-	6
<i>Procyon lotor</i>	X	X	X	X	-	-	X	X	X	7
Ungulados										
<i>Pecari tajacu</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mazama americana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Primates										
<i>Ateles geoffroyi</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totales 55	22	23	17	18	9	12	17	17	12	33
Registros históricos = 55										
Registros actuales = 33										

Murciélagos

VINICIO J. SOSA, ELOÍSA HERNÁNDEZ-SALAZAR, DAVID HERNÁNDEZ-CONRIQUE
Y ALEJANDRO A. CASTRO-LUNA

Resumen

Ante la alarmante pérdida de hábitat natural, es necesario conocer el papel de los cafetales en la conservación de murciélagos para poder hacer recomendaciones de manejo sustentable a los productores. En este capítulo determinamos la diversidad de murciélagos de la familia Phyllostomidae en ocho fincas cafetaleras y un fragmento de bosque mesófilo de montaña, e investigamos la hipótesis de que la abundancia, la riqueza (número de especies) y la diversidad de murciélagos son mayores conforme aumenta la estructura de la vegetación. Tras dos años de muestreo, registramos 26 especies, 20 de ellas en la familia Phyllostomidae. La riqueza en los cafetales varió de 8 a 18 especies. No hubo diferencias en la riqueza de murciélagos entre el bosque y los cafetales pero hubo pequeñas diferencias en la composición de especies entre el café a sol, las fincas con sombra y el bosque. La abundancia de murciélagos aumentó proporcionalmente al número de especies de árboles en las fincas. Los cafetales con mayor estructura de la vegetación tienen mayor riqueza de murciélagos que aquellos con menor estructura, pero el paisaje que rodea a la finca y su manejo, pueden determinar la diversidad de murciélagos. Las especies más comunes son frugívoros generalistas, tolerantes a ambientes perturbados.

Abstract

Due to the accelerated destruction of natural habitat, it is necessary to understand the role of coffee plantations on bat conservation in order to be able to make recommendations on sustainable management to coffee growers. We studied bat diversity in the Phyllostomidae family in eight coffee plantations and one remnant fragment of cloud forest that differ in their vegetation structure, and test the hypothesis that bat abundance, species richness, and diversity would be positively related to the plantation structure. After sampling during two years, we captured 26 species of bats, 20 of them in the Phyllostomidae family. Richness ranged from 8 to 18 species. The number of bat species is comparable between the coffee plantations and the forest fragment, but species composition varies across the shaded plantations, the sun plantation, and the forest. Bat abundance is positively correlated with tree and shrub richness in the coffee plantations. Plantations with the most developed vegetation structure (greater tree richness and basal area) had greater bat richness and diversity than plantations with the less developed structure, but this pattern may be altered by the landscape around the plantation and its management. The most common captured species are frugivorous, habitat generalists highly tolerant to perturbation and heterogeneous landscapes.

INTRODUCCIÓN

La transformación del hábitat natural es la principal causa de extinciones locales de especies o de la reducción de la abundancia de las mismas (Perfecto *et al.* 1997, Debinsky y Holt 2000, Fahrig 2003). Como se explica (Capítulo 1), los cafetales a sombra pueden funcionar como reservorios de una importante proporción de la biodiversidad, la cual está asociada principalmente a la existencia de un estrato arbóreo que conserva muchas de las funciones y los recursos de los bosques transformados en cafetales: retención de humedad, sombra, disponibilidad de sitios para percha, nidificación y refugio, alimento en forma de frutos, flores e insectos, etc. (Aguilar-Ortiz 1982, Gallina *et al.* 1996, Greenberg *et al.* 1997, Calvo y Blake 1998, Moguel y Toledo 1999, Perfecto *et al.* 2003). Entre los grupos que usan los cafetales a sombra como hábitat, se encuentran los murciélagos. A pesar de ser poco conspicuos por sus hábitos nocturnos y pequeño tamaño, los murciélagos son el segundo orden (Chiroptera = mano alada) más diverso de mamíferos a nivel mundial y el de mayor diversidad a nivel local. En México existen cerca de 140 especies de murciélagos, 93 de las cuales han sido registradas en el estado de Veracruz (Ceballos y Oliva 2005). Estos animales son los únicos mamíferos realmente voladores y por sus hábitos alimentarios desempeñan funciones muy importantes para el mantenimiento de los ecosistemas naturales. Los murciélagos muestran una gran diversidad de dietas, existiendo especies que se alimentan de frutos, néctar y polen, insectos, pequeños vertebrados (*i.e.* peces, ranas, lagartijas, roedores y murciélagos), e incluso sangre de mamíferos y aves. Como consecuencia, brindan cruciales servicios ambientales en la dispersión y polinización de plantas, en la regulación del tamaño de las poblaciones de insectos, en el mantenimiento de las cadenas alimentarias y en la producción de guano, útil como fertilizante (Wilson 2002). En particular, la familia Phyllostomidae, por habitar ambientes del trópico americano, es importante para mantener la regeneración de selvas ante perturbaciones naturales o causadas por el hombre, ya que junto con las aves, son los principales dispersores (resembradores) de plantas pioneras (Galindo-González 1998). Sólo tres especies de murciélagos son hematófagas, pudiendo una de ellas, el vampiro (*Desmodus rotundus*), ser perjudicial al hombre, al transmitir la rabia paralítica o derrengue a los animales domésticos.

El efecto de la transformación de bosques tropicales y subtropicales en plantaciones de café u otros agroecosistemas sobre la diversidad de murciélagos, se empezó a estudiar recientemente (Medellín *et al.* 2000, Estrada y Coates-Estrada 2001a, 2001b, Moreno y Halfiter 2001, Gorresen y Willig 2004). Los resultados de estos estudios pueden dividirse en dos grupos: 1) los que apoyan que la riqueza de especies de murciélagos es menor en los agroecosistemas que en los bosques originales o con poca perturbación, *v.gr.* en Los Tuxtlas (Estrada y Coates-Estrada 2002), en la Lacandonia (Medellín *et al.* 2000), en la Sierra Madre de Chiapas (García-Estrada *et al.* 2006); y 2) los que apoyan que la riqueza es igual o mayor en los agroecosistemas que en los bosques, *v.gr.* en la Lacandonia (Cruz-Lara *et al.* 2004), en el Quindío, Colombia (Numa *et al.* 2005), en la zona central montañosa de Veracruz (Pineda *et al.* 2005), o en la zona montañosa de Tabasco (Castro-Luna *et al.* 2007). Por otra parte, algunos estudios también informan que aunque la riqueza o diversidad de murciélagos no se modifica, la abundancia relativa de las especies y la composición específica cambian dependiendo de la intensidad de la perturbación, de la intensificación en el manejo del agroecosistema o del tipo de explotación maderera (Medellín *et al.* 2000, Numa *et al.* 2005, Clarke *et al.* 2005, Castro-Luna *et al.* 2007). La falta de consenso en cuanto al valor de los cafetales y otros agroecosistemas arbolados como reservorios de diversidad de murciélagos, puede deberse a variación en los estudios causada por diferencias en la escala y grado de perturbación de la vegetación original, la distancia a la misma, el tipo de manejo y el paisaje en el que se encuentra el cafetal. Por lo tanto, los estudios sobre el efecto de la transformación de bosques tropicales y subtropicales a cafetales a sombra en la diversidad de murciélagos aún son insuficientes para establecer patrones generales.

El manejo del cafetal incide directamente en la estructura del mismo, entendiéndose como estructura la composición florística, proporciones de formas de crecimiento y distribución de tamaños y edades de las otras plantas acompañantes. En la región central montañosa de Veracruz, el manejo del cafetal varía desde prácticas relativamente rústicas hasta un uso más intensificado, que implica diferencias en la cantidad y frecuencia de uso de agroquímicos, frecuencia de chapeos, variedad de árboles de sombra, variedad de café, densidad de árboles, densidad de cafetos, etc. (Capítulos 1 y 2). En este capítulo describimos

la diversidad de murciélagos encontrada en nueve de las 19 localidades estudiadas en el proyecto Biocafé (Capítulo 1) en donde se estudió este grupo de organismos. Estas 9 localidades representan el gradiente de estructura biofísica y manejo que va desde el cafetal a sol, sigue con el cafetal a sombra con monocultivo, el cafetal con policultivo, hasta el bosque mesófilo de montaña secundario. También investigamos si dicho gradiente influye en la composición de especies de murciélago. Finalmente, investigamos la hipótesis de que la riqueza (S), la abundancia y diversidad (H') de murciélagos aumentan con la complejidad de la vegetación (estructura biofísica) del cafetal. Específicamente, esperábamos una mayor abundancia y riqueza de especies de murciélago en fincas con mayor diversidad de plantas leñosas o con mayor complejidad de su estrato arbóreo (sombra), debido a la mayor diversidad en recursos tróficos, de refugio y de condiciones ambientales que pueden ofrecer. Nuestro énfasis es en la familia Phyllostomidae porque ha sido propuesta como indicadora de perturbación (Fenton *et al.* 1992) y porque el método de muestreo por redes de niebla subestima la abundancia de otras familias, cuyo sistema de ecolocación les permite evitar las redes. En México, los murciélagos de la familia Phyllostomidae ocupan una gran variedad de nichos ecológicos que incluyen, con la excepción de los que se alimentan de peces, y quizás los insectívoros aéreos, casi todos los modos de alimentación antes mencionados; por lo tanto, conocer la composición de especies y su abundancia en agroecosistemas como los cafetales ayudará a entender el grado de transformación o perturbación que la fauna puede tolerar.

MATERIAL Y MÉTODOS

Captura de murciélagos

El muestreo se realizó en ocho fincas cafetaleras y un rancho con un fragmento de bosque mesófilo de montaña secundario en dos regiones, Coatepec-Teocelo y Huatusco-Totutla; ambas en la zona montañosa de Veracruz. Las fincas muestreadas en Coatepec-Teocelo fueron (se indica su acrónimo, y el tipo de finca de acuerdo con la estructura y grado de manejo, Capítulo 2): Buenavista (SOL) cafetal a sol, manejo medio; La Orduña (ORD) La Onza (ONZ) y El Zopilote (ZOP) cafetales rústicos, es decir con estructura arbórea bien desarrollada, con manejo bajo (ORD) y alto (ONZ y ZOP). Las muestreadas en Huatusco-Totutla fueron:

De la Vequia Café con Sombra Especializada (VSE), cafetal con monocultivo y manejo medio; De la Vequia Café Estándar (VCS), cafetal con policultivo, manejo medio; Chicuatla o De la Vequia Bajo Monte (VBM), cafetal rústico, manejo medio; El Mirador (MIR), cafetal rústico, manejo casi nulo; y el rancho Las Cañadas (CAÑ), fragmento de bosque mesófilo de montaña secundario, sin manejo.

Los muestreos fueron 6, durante 2004 y 2005, repartidos en las tres épocas climáticas reconocidas para la región (de nortes, seca y lluviosa). Esto, con el fin de realizar un muestreo representativo sobre todas las especies, inclusive migratorias potenciales. En cada finca se localizaron 5 puntos permanentes de muestreo, distantes ≥ 50 m entre sí. En cada punto se colocaron 2 redes, una a la altura del sotobosque y otra en el subdosel (el análisis de la diferencia de la diversidad de murciélagos entre estos dos estratos verticales se analiza en otra publicación). Las redes se abrían durante cinco horas a partir del crepúsculo. Los muestreos se hicieron en su mayoría en el periodo comprendido entre una semana antes y una después a la luna nueva para evitar una disminución del éxito de captura en noches iluminadas por la luna. Los murciélagos capturados fueron identificados con la clave de Medellín *et al.* (1997), marcados con collares plásticos y liberados tras registrar los siguientes datos: sexo, estado reproductivo, clase de edad (joven o adulto en base al grado de fusión de las epífisis de las falanges del ala), masa corporal y longitud de antebrazo. Para nombrar a las especies, seguimos a Ramírez-Pulido *et al.* (2005).

Análisis de datos

Para comparar la riqueza de especies entre fincas se recurrió a un análisis de rarefacción, para lo cual se obtuvieron las curvas esperadas según el estimador no paramétrico Chao 1 de especies acumuladas, respecto al número de individuos capturados y respecto al número de puntos muestreados, así como sus intervalos de confianza mediante el algoritmo del programa Estimates 7.0 (Colwell 2005). Para eliminar la influencia del orden en que el muestreo fue hecho y suavizar la curva de acumulación, el orden de muestreo fue aleatorizado 1000 veces (Longino y Colwell 1997). Además, se obtuvieron estadísticos de riqueza y diversidad (riqueza específica, índice de diversidad de Shannon [H'], inverso del índice de diversidad de Simpson, índice de dominancia de Berger-Parker) que permitieran hacer comparaciones con estudios simila-

res y posteriores. Para evaluar si las diferencias entre índices de diversidad de Shannon eran significativas, se corrieron pruebas de t (Hutcheson 1970) entre pares de fincas, usando $\alpha = 0.007$ como nivel de significancia, corregido por el número de comparaciones hechas.

La similitud en la composición de especies entre fincas fue investigada mediante el cálculo del índice de similitud de Jaccard entre todos los pares de fincas y mediante un análisis de conglomerados. Para este último se usó una matriz de similitud calculada con la fórmula de Bray-Curtis sobre datos de presencia-ausencia y sobre datos de abundancia de las especies, con la cual se obtuvo un árbol de clasificación de las fincas. La validez (significado estadístico) de los grupos sugeridos por dicho árbol fue evaluada mediante un análisis de similitud (ANOSIM; Clarke 1993). Para esta sección solo se analizaron los datos de capturas por punto de muestreo de la familia Phyllostomidae, mediante el paquete computacional PRIMER v.5 (Clarke y Gorley 2001).

Para probar la hipótesis de que el mayor número de especies de murciélagos se asociaría con las fincas con mayor complejidad de su estructura vegetal, corrimos análisis de regresión lineal simple (S-PLUS 2000) entre las variables riqueza de especies, abundancia y diversidad (H') de murciélagos como variables de respuesta en turno; y las variables de la estructura de la vegetación obtenidas en el proyecto Biocafé (riqueza total, densidad, área basal y altura promedios de plantas leñosas; Capítulo 4) y la altitud promedio de las fincas, como variables explicativas. No se investigó el efecto combinado de las variables explicativas debido a restricciones estadísticas (el bajo número de fincas estudiadas —pocos grados de libertad— es poco recomendado para el uso de regresión múltiple). Alternativamente, se usó como variable explicativa un índice de estructura de la vegetación que sintetiza la contribución de las variables de estructura medidas en una sola variable o “factor”. El índice se calculó como la suma de los dos primeros componentes principales (80% de la varianza explicada) estandarizada por la mayor suma obtenida (Capítulo 2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Riqueza y diversidad

Capturamos un total de 901 murciélagos pertenecientes a cuatro familias (Apéndice 1) y 26 especies. La

mayoría fueron especies frugívoras (17), pero también hubo nectarívoras (3), insectívoras (5) y una sanguívora. La familia más numerosa fue la Phyllostomidae, con 20 especies, como corresponde al método de captura utilizado. El cafetal con mayor número de especies fue VBM (De la Vequia Bajo Monte) y el que presentó el menor número fue La Orduña (ORD, Cuadro 13.1), ambos, clasificados como rústicos. Con base en el estimador Chao1, la riqueza de especies de las fincas VCS (De la Vequia Café Estándar, cafetal con policultivo) y ORD fue significativamente menor que la riqueza de las fincas VBM y MIR (El Mirador, cafetal rústico). No hubo diferencias significantes entre las demás comparaciones posibles (Figura 13.1). Para la mayoría de las fincas, la riqueza observada fue mayor que el 90% de la riqueza esperada, por lo que se considera que el muestreo fue representativo de la riqueza de especies de Phyllostomidae.

En relación con la diversidad, el sitio con mayor diversidad fue la finca MIR y el menos diverso fue CAÑ (el fragmento de bosque); este último consistentemente para todos los índices. La diversidad (índice de Shannon) de este bosque fue significativamente menor respecto a las fincas cafetaleras ($t = 3.8$, 139 g.l., $p = 0.0002$) contra lo esperado; asimismo, la diversidad de la finca ORD fue menor que la de MIR ($t = 3.52$, 83 g.l., $p = 0.0007$). No hubo ninguna otra diferencia en diversidad entre las fincas restantes. La baja diversidad de CAÑ, se debió a la dominancia del murciélago *Sturnira ludovici*, especie que aportó el 40% de las capturas de ese fragmento de bosque, y a la llamativa ausencia de otros estenodermatinos relativamente comunes en casi todas las demás fincas (tales como las especies del género *Artibeus*; véase Apéndice). La riqueza específica promedio de las fincas y el bosque mesófilo de la región de Huatusco-Totutla ($S = 13.8$ especies) fue superior a las de Coatepec-Teocelo ($S = 10.2$ especies). La región de Huatusco-Totutla aporta el total de la riqueza gamma (25 especies, Figura 13.2) para los cafetales estudiados y presenta mayor riqueza de especies que la región Coatepec-Teocelo posiblemente porque su menor altitud, y mayor cercanía con fragmentos de selva baja caducifolia, favorecen la presencia de especies de zonas bajas neotropicales (*Centurio senex*, *Platyrrhinus helleri*, *Enchisthenes hartii* y *Uroderma bilobatum*).

La riqueza de especies de murciélago registrada para los cafetales de la zona central montañosa de Veracruz, es comparable o mayor a la informada en tres estudios previos; uno realizado en la misma región

Cuadro 13.1. Principales estadísticos de la diversidad de murciélagos, índice de estructura de la vegetación (Capítulo 2) y altitud de ocho fincas cafetaleras y un fragmento de bosque mesófilo de montaña (CAÑ), en la zona central montañosa de Veracruz. La riqueza observada de especies es la diversidad gamma para esta región.

Variables y estadísticos	Finca									Total
	SOL	VSE	VCS	ONZ	VBM	ORD	ZOP	MIR	CAÑ	
Abundancia por finca	28	79	74	220	96	37	59	186	122	901
Riqueza específica observada	10	14	12	13	18	8	11	17	11	26
Diversidad de Shannon	2.04	2.13	2.09	2.03	2.13	1.82	2.11	2.2	1.24	2.38
Diversidad 1/Simpson	7.71	6.53	6.21	6.43	5.21	6.06	7.78	6.8	2.09	7.77
Dominancia de Berger-Parker	0.29	0.29	0.34	0.25	0.4	0.27	0.24	0.3	0.68	0.23
Índice de estructura vegetal	-6	27	32	51	55	58	59	61	100	
Altitud promedio (msnm)	1110	1064	1052	1100	1016	1200	1037	1010	1360	

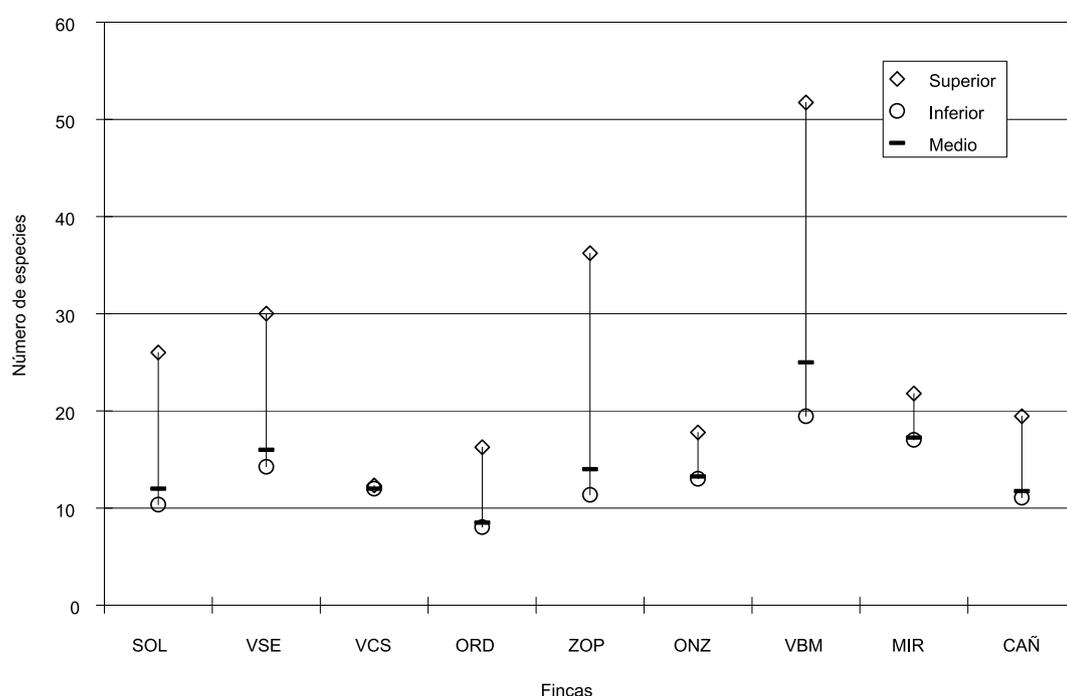


Figura 13.1. Riqueza promedio de especies esperada según el estimador no paramétrico Chao 1, y límites superior e inferior de 95% de confiabilidad en ocho fincas cafetaleras con diferente manejo y un fragmento de bosque mesófilo de montaña (CAÑ). Las fincas están ordenadas de izquierda a derecha de menor a mayor complejidad de la estructura de su vegetación.

(Pineda *et al.* 2005), otro en la Lacandonia, Chiapas (Cruz-Lara *et al.* 2004) y otro en la región del Quindío, en Colombia (Numa *et al.* 2005). Al igual que en nuestro trabajo, en estos tres estudios se informa que la riqueza de murciélagos en los cafetales, no es diferente de la hallada en la vegetación boscosa original. Sin embargo, el número de especies para Veracruz es menor que el registrado en cafetales del sureste de

Chiapas, donde la riqueza varió entre 23 y 26 especies dependiendo del tipo de manejo del cafetal: sombra mono o poliespecífica y cantidad de agroquímicos adicionados (García-Estrada *et al.* 2006). En aquel estudio se capturaron el doble de especies de la familia Phyllostomidae que en nuestro caso. Esta diferencia se explica más por las diferencias biogeográficas y de altitud, —que hacen al sitio de Chiapas más tropical

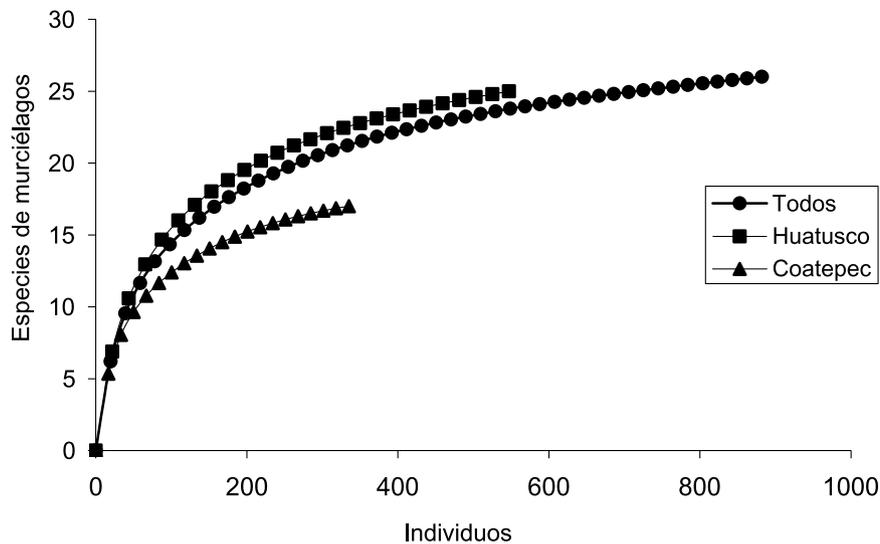


Figura 13.2. Curvas observadas de acumulación de especies para todos los sitios estudiados (diversidad gamma) y agrupados según regiones: Huatusco-Totutla y Coatepec-Teocelo.

y por ende bióticamente más diverso—, que por diferencias en el manejo de los cafetales o la eficiencia del muestreo. En ese estudio se informa además que la riqueza de quirópteros fue mayor en el bosque mesófilo de montaña (36 especies) que en los cafetales.

Es importante señalar que aún es prematuro concluir sobre si la riqueza de especies de murciélagos en los fragmentos de bosque mesófilo de montaña (BMM) en la región central de Veracruz, es igual a la presente en los cafetales. Esto, debido a que el fragmento estudiado pudiera ser poco representativo del BMM, por tratarse de un manchón de bosque secundario (en regeneración desde hace 18 años), alargado y con un gran efecto de borde, constituido principalmente por vegetación riparia. Lo anterior incidió en que las especies de murciélagos capturadas fueran en su mayoría generalistas en cuanto a la selección de hábitat y consumidoras de frutos de plantas abundantes en el sotobosque de bosques perturbados o secundarios, tales como *Solanum* y *Piper*. Actualmente, se están levantando inventarios de los murciélagos en otros fragmentos de bosque mesófilo de montaña a fin de tener mejor representado este ecosistema.

Composición de especies

De la figura 3 pueden distinguirse, a una similitud de 0.51, tres grandes grupos formados por: (1) el fragmento de bosque, (2) el cafetal a sol y (3) el resto de los cafetales a sombra. La existencia de estos grupos

está validada estadísticamente, ya que para los datos de abundancia el ANOSIM calculó una R global igual a 0.49 ($p = 0.001$) y para los de presencia-ausencia una $R = 0.43$ ($p = 0.001$). El valor de R es una medida relativa de la separación entre los grupos definidos *a priori* que varía entre 0 y 1. Por lo general, valores entre cero y 0.25 indican que no hay grupos distinguibles; entre 0.25 y 0.50 indican grupos distinguibles con un gran traslape en su composición de especies; y >0.50 indican la existencia de grupos claramente definidos. Las evaluaciones *a posteriori* de la diferencia de los grupos por pares (bosque *vs.* cafetales a sombra, bosque *vs.* cafetal a sol y cafetales a sombra *vs.* cafetal a sol) también fueron significativas (R entre 0.33 y 0.67 y $p < 0.016$, tras corregir por el número de comparaciones). El fragmento de bosque secundario se separa de los cafetales por la ausencia de tres especies muy comunes *Artibeus lituratus*, *A. intermedius* y *Glossophaga soricina* y la gran abundancia de *Sturnira ludovici*. Los cafetales a sombra se separan del cafetal a sol y el bosque por la presencia exclusiva de especies poco comunes como *Centurio senex*, *Choeroniscus godmani*, *Chiroderma salvini*, *Platyrrhinus helleri*, *Enchisthenes hartii* y *Uroderma bilobatum*. Y el cafetal a sol se separa de los cafetales a sombra y el bosque por la presencia exclusiva de *Micronycteris megalotis* y la baja abundancia de las demás especies presentes.

Los géneros más comunes (más de 50 individuos) tanto en las fincas como en el fragmento de bosque (*Sturnira*, *Artibeus*, *Carollia*, y *Dermanura*), coinciden con

los registrados en otros tipos de agroecosistemas y bosques tropicales, agrupando especies consideradas como tolerantes o adaptables a ambientes perturbados, o asociadas a ecotonos y vegetación secundaria (Fleming 1986, Galindo-González 2004). La diferencia en la composición de especies la determinaron algunas especies vulnerables de la familia Phyllostomidae o algunas especies incidentales (difíciles de capturar con redes) pertenecientes a otras familias. En ninguna de las fincas ni en el fragmento de bosque mesófilo se capturaron las 26 especies registradas en total. Este dato junto con el del número promedio de especies compartidas entre fincas (10, Cuadro 13.2) sugieren una importante complementariedad de la riqueza de murciélagos entre las fincas. Esto es necesario considerarlo para una estrategia de conservación de las comunidades de murciélagos de la región central montañosa de Veracruz. Esta estrategia dependería de mantener el paisaje heterogéneo actual, con manchones de bosque, cafetales y otros agroecosistemas, o de fomentar la extensión de agroecosistemas forestados y rodales de bosque, pero de ningún modo, de su reducción.

Relación de la diversidad de murciélagos con la estructura de las fincas

De las tres variables examinadas, riqueza específica, abundancia total y diversidad (H') de murciélagos, únicamente la abundancia total parece responder en forma lineal y significativa ($R^2 = 0.51$, $p = 0.03$) a una de las variables de la estructura de la vegetación, la riqueza de plantas leñosas (Figura 14.4). A mayor riqueza de árboles y arbustos, mayor abundancia de murciélagos.

Por otra parte, aunque se observa un incremento en la diversidad (H') conforme aumenta la complejidad estructural de las fincas, la relación lineal es baja ($R^2 = 0.36$) y no significativa ($p = 0.08$). Sin embargo, las dos fincas a sombra con mayor estructura (VBM y MIR, sombra diversificada) tienen en promedio 6 especies más que las tres fincas con menor estructura (SOL, VSE y VCS, café a sol, monocultivo y policultivo, respectivamente).

La mayor abundancia de murciélagos en las fincas con mayor riqueza específica de plantas leñosas puede explicarse por la dieta de los murciélagos, ya que la mayoría de las especies capturadas (73%) son frugívoras o nectarívoras y su presencia está íntimamente ligada a la cantidad y variedad de recursos alimentarios (frutos, polen y néctar). Así, aunque no hay diferencias fuertes en la riqueza específica, ni en la diversidad de murciélagos entre fincas, es evidente que la disminución en el número de especies de plantas y del tamaño de las mismas, está asociada negativamente a la abundancia de murciélagos y en un momento dado a la permanencia de las especies. Es decir, las extinciones locales de las especies inician con una disminución de la abundancia de sus poblaciones.

Por otra parte, la riqueza y abundancia pueden estar influidas, no solo por la estructura del cafetal, sino por el tipo de paisaje que lo rodea o por su manejo. Por ejemplo, pensamos que la baja abundancia y riqueza de especies de murciélagos del cafetal ORD, pese a que su estructura es de las medianas, se debe a la relativa cercanía de las carreteras, la ciudad de Coatepec y otros poblados importantes a la finca, así como a un paisaje relativamente homogéneo (otras fincas cafetaleras con manejo y estructura semejantes)

Cuadro 13.2. Similitud en la composición de especies de murciélagos calculada mediante el índice de Jaccard (sobre diagonal) y número de especies compartidas (bajo diagonal) en ocho fincas y un fragmento de bosque mesófilo de montaña (CAÑ).

	SOL	VSE	VCS	ONZ	VBM	ORD	ZOP	MIR	CAÑ
SOL	*	0.41	0.38	0.53	0.40	0.50	0.40	0.50	0.31
VSE	7	*	0.63	0.69	0.60	0.47	0.39	0.72	0.32
VCS	6	10	*	0.56	0.50	0.54	0.44	0.45	0.44
ONZ	8	11	9	*	0.72	0.62	0.60	0.58	0.50
VBM	8	12	9	13	*	0.44	0.53	0.59	0.38
ORD	6	7	7	8	8	*	0.58	0.39	0.36
ZOP	6	7	7	9	10	7	*	0.40	0.47
MIR	9	11	9	11	13	7	8	*	0.33
CAÑ	5	6	7	8	8	5	7	7	*

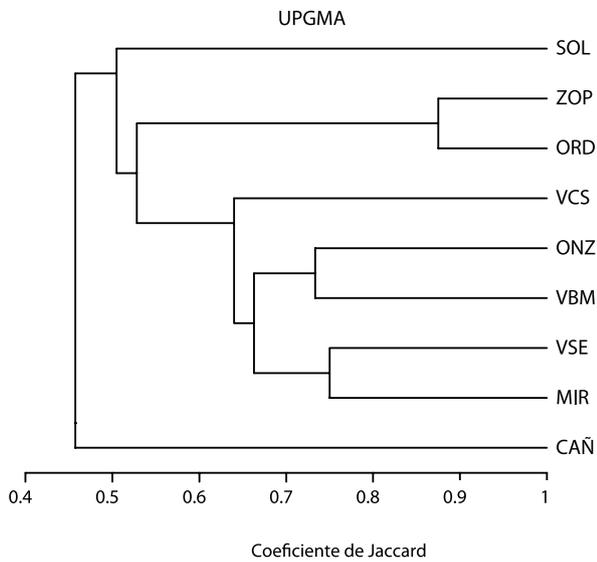


Figura 13.3. Dendrograma que ilustra la afinidad de ocho fincas cafetaleras y un fragmento de bosque mesófilo de montaña con base en la presencia de especies de murciélago. La medida de similitud fue el coeficiente de Jaccard y el método de agrupamiento el UPGMA. A una similitud de 0.5, todavía significativa, se reconocen tres grupos: uno formado por el bosque mesófilo de montaña (CAÑ), otro formado por los cafetales con sombra y otro formado por el cafetal a sol (SOL).

que la rodea. El análisis a nivel de paisaje de la diversidad de murciélagos en las fincas estudiadas está en proceso.

Mientras no se concluyan más estudios, solo puede especularse sobre cómo los murciélagos utilizan el hábitat constituido por las fincas cafetaleras. Al parecer los murciélagos vuelan desde sus refugios diurnos que están en las cercanías de las fincas (en fragmentos de bosque adyacentes, vegetación riparia, cercas vivas, huertos, alcantarillas, cañadas, etc.) hacia los cafetales patrullando en la búsqueda de alimento (frutos, flores e insectos). En las fincas crecen varias especies de plantas nativas e introducidas que pueden proveer de alimento a los murciélagos, como son arbustos (géneros *Solanum*, *Piper*, *Cestrum*) y árboles (géneros *Ficus*, *Inga*, *Cecropia*, *Mimosa*, *Psidium*, *Syzygium*, *Eriobotrya*, *Spondias*, *Persea*, *Byrsonima* y *Chrysophyllum*; Capítulo 4). Una importante proporción de los murciélagos frugívoros y nectarívoros capturados evacuaron o traían adheridas semillas o polen de algunas de estas plantas, o bien transportaban un fruto al momento de su captura. Los murciélagos usan los cafetales como sitios de alimentación pero no se descarta que algunos los usen para refugiarse durante el día, en especial aquellas fincas

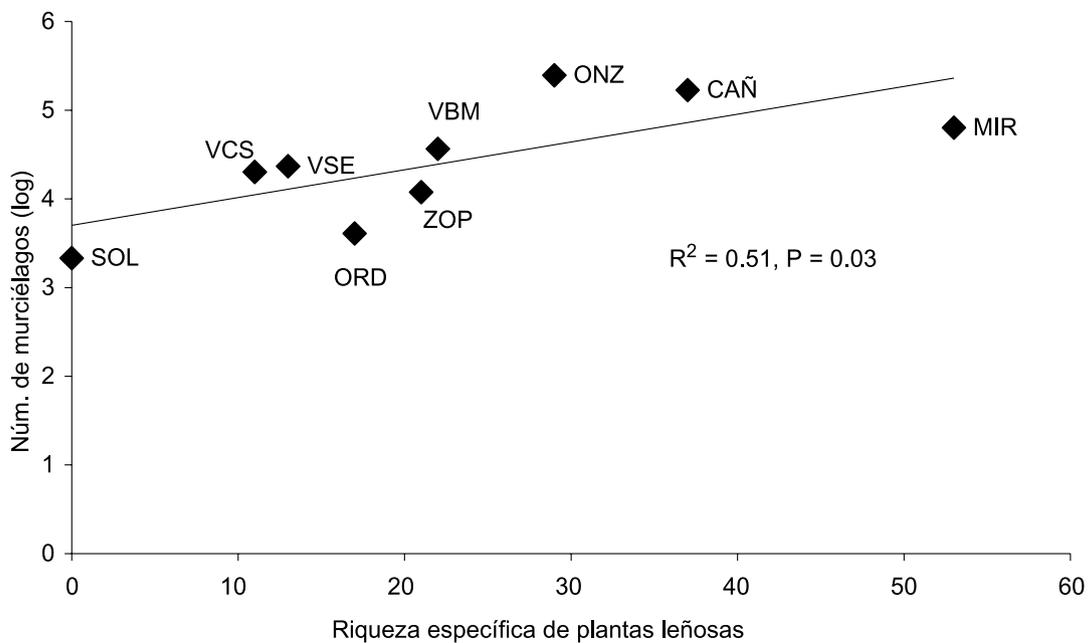


Figura 13.4. Asociación positiva de la abundancia de murciélagos con la riqueza de especies de plantas leñosas de ocho fincas cafetaleras y un fragmento de bosque mesófilo de montaña.

con árboles grandes o con palmas y plátanos, ya que de 12 animales recapturados pertenecientes a cinco especies comunes, 9 fueron recapturados en la misma finca. Además se observó una colonia de *Glossophaga soricina* de seis individuos habitando en un tronco hueco en la finca MIR.

Con excepción de una especie de vampiro (solo tres individuos capturados), todas las especies registradas son benéficas para el productor cafetalero porque representan el potencial de regeneración del monte alto, porque son depredadores de insectos y porque polinizan los árboles de sombra. Si bien es cierto que, con la excepción de la extracción de guano de murciélagos de cavernas, no se conoce de un aprovechamiento directo de los murciélagos, es conveniente conservar su diversidad y fomentar su abundancia en las fincas cafetaleras y otros agroecosistemas, así como en los fragmentos remanentes de bosque mesófilo de montaña. La desaparición de las especies de murciélagos de estos ecosistemas o la disminución de su abundancia afectaría a los productores en la pérdida de un grupo importante de depredadores de insectos que incluyen algunas plagas de cultivos. Además se disminuiría la capacidad de regeneración natural del bosque, acahuales y potreros favorecida por la dispersión de semillas que realizan los murciélagos, en caso de que el productor quisiera dedicar parte de su finca como zona arbolada. Esto es importante dadas las políticas de apoyo en forma de pagos por servicios ambientales a quien mantiene superficies forestadas. Finalmente, los murciélagos son el principal polinizador del jinicuil, el chalahuite (género *Inga*) y otras especies como la pomarrosa (*Syzygium jambos*), importantes árboles de sombra para el café. La polinización es indispensable para que se forme el fruto, el cual, en el caso del jinicuil es comestible y altamente apreciado por su sabor.

En conclusión, la abundancia de murciélagos es mayor en las fincas con estructura más compleja (mayor número de especies de plantas leñosas, mayor diámetro y altura de los árboles). A nivel de finca, la mayor riqueza de especies de murciélago estuvo asociada a fincas con sombra diversificada, pero la diferencia es apenas significativa, aparentemente debido al bajo número de fincas muestreadas y la gran variabilidad en el manejo de las mismas. En su mayoría, las especies detectadas son especies comunes y generalistas tolerantes a ambientes modificados y heterogéneos. Las fincas muestreadas hasta el momento son similares en

la composición de especies generalistas de murciélagos, con pequeñas diferencias entre cafetales a sombra, cafetal a sol y bosque causadas por especies vulnerables o incidentales. Existe una importante complementariedad de la riqueza de murciélagos entre las fincas.

RECOMENDACIONES

- Incrementar el número y tamaño de árboles en las fincas a fin de proveerles de alimento y sitios de refugio.
- Analizar la relación entre la riqueza de murciélagos y algunas variables del paisaje en el que están inmersas las fincas estudiadas.
- A fin de completar el inventario de murciélagos de los cafetales de la zona central montañosa de Veracruz, es necesario utilizar métodos de detección ultrasónica, para registrar aquellas especies insectívoras que por su desarrollado sistema de ecolocación y hábitos de vuelo a grandes alturas no son susceptibles de capturarse con redes. También es recomendable aumentar la muestra de fincas para el inventario de murciélagos concentrando el esfuerzo de muestreo en épocas clave y disminuyendo el número de redes por finca. Considerar que con seis noches de muestreo y 10 redes por sitio, se alcanza al menos el 80% del total de especies estimado.
- Promover tipos de manejo que favorezcan la mayor complejidad estructural de la vegetación, tales como la sombra diversificada, y articular políticas que desanimen la transformación del cafetal rústico o de sombra a otros modos de uso de la tierra poco amigables con el mantenimiento de la diversidad de quirópteros, tales como cafetales de sol, cultivos de caña o maíz, o ambientes urbanos.
- Mantener los actuales tipos de manejo, así como el número y tamaño de fincas, debido a que la conversión de las fincas con café con sombra a otro uso de suelo incidirá negativamente primero, en la abundancia de murciélagos y segundo en la extirpación local de algunas especies.
- Difundir programas de información sobre la incidencia real de vampiros en la zona cafetalera y los métodos apropiados de combate, así como del valor beneficioso de las especies plantívoras e insectívoras, que promuevan la preservación de las demás especies de murciélagos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Guillermo Vázquez, Cleotilde García, Areli Rizo, Bruno Peralta, Omar Blanco, Ignacio Íñiguez, Miguel Ángel Munguía, Romeo Saldaña, Martha Primo, Juan Manuel Pech, Fidel Hernández, David Fernández, Bárbara Bravo y Paloma, por su ayuda en algunas de las expediciones de captura de murciélagos. Agradecemos también a Sonia Gallina, Antonio Guillén y a dos revisores anónimos por sus valiosos comentarios al manuscrito.

REFERENCIAS

- Aguilar-Ortiz F. 1982. Estudio ecológico de las aves del cafetal. En: Jiménez Ávila, E., Gómez-Pompa, A, editores. *Estudios agroecológicos en el agroecosistema cafetalero*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. México, DF: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. p. 103-128.
- Calvo L, Blake J. 1998. Bird diversity and abundance on two different shade coffee plantations in Guatemala. *Bird Conservation International* 8:297-308.
- Castro-Luna AA, Sosa VJ, Castillo-Campos G. 2007. Bat diversity and abundance associated with the degree of secondary succession in a tropical forest mosaic in southeastern Mexico. *Animal Conservation* 10:219-228.
- Ceballos G, Oliva G, coordinadores. 2005. *Los mamíferos silvestres de México*. México, DF: FCE, CONABIO. 987 p.
- Clarke KR. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18:117-143.
- Clarke KR, Gorley RN. 2001. *PRIMER v5: User Manual/Tutorial*. Plymouth: PRIMER-E, 192 p.
- Clarke FM, Pio DV, Racey PA. 2005. A comparison of logging systems and bat diversity in the Neotropics. *Conservation Biology* 19:1194-1204.
- Colwell RK. 2005. *EstimateS: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples*. Version 7.5 Persistent URL hpurl.oclc.org/estimatesi.
- Cruz-Lara LE, Lorenzo C, Soto L, Naranjo E, Ramírez-Marcial N. 2004. Diversidad de mamíferos en cafetales y selva mediana de las cañadas de la selva Lacandona, Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana* 20:63-81.
- Debinsky DM, Holt RD. 2000. A survey and overview of habitat fragmentation experiments. *Conservation Biology* 14:342-355.
- Estrada A, Coates-Estrada R. 2001a. Bat species richness in live fences and in corridors of residual rainforest vegetation at Los Tuxtlas, Mexico. *Ecography* 24:94-102.
- Estrada A, Coates-Estrada R. 2002. Bats in continuous forest, forest fragments and in an agricultural mosaic habitat island at Los Tuxtlas, Mexico. *Biological Conservation* 103:237-245.
- Estrada A, Coates-Estrada R. 2003. Species composition and reproductive phenology of bats in a tropical landscape at Los Tuxtlas, Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 17:627-646.
- Fahrig L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 34:487-515.
- Fenton MB, Acharya L, Audet D, Hickey MBC, Merriman C, Obrist MK, Syme DM, Adkins B. 1992. Phyllostomid bats (Chiroptera: Phyllostomidae) as indicators of habitat disruption in the Neotropics. *Biotropica* 24:440-446.
- Fleming TH. 1986. Opportunism versus specialization: the evolution of feeding strategies in frugivorous bats. En: Estrada A, Fleming TH, editores. *Frugivores and seed dispersal*. Dordrecht: Dr W Junk Publishers, p 1105-1118.
- Galindo-González J. 1998. Dispersión de semillas por murciélagos: su importancia en la conservación y regeneración del bosque tropical. *Acta Zoológica Mexicana* (ns) 73:57-74.
- Galindo-González J. 2004. Clasificación de los murciélagos de la región de Los Tuxtlas, Veracruz, respecto a su respuesta a la fragmentación del hábitat. *Acta Zoológica Mexicana* (ns) 20:239-243.
- Gallina S, Mandujano S, González-Romero A. 1996. Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of central Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems* 33: 13-27.
- García-Estrada C, Damon A, Sánchez Hernández C, Soto Pinto L, Ibarra Núñez G. 2006. Bat diversity in montane rainforest and shaded coffee under different management regimes in southeastern Chiapas, Mexico. *Biological Conservation* 132:351-361.
- Gorresen PM, Willig MR. 2004. Landscape responses of bats to habitat fragmentation in Atlantic forest of Paraguay. *Journal of Mammalogy* 84:688-697.
- Greenberg R, Bichier P, Sterling J. 1997. Bird populations in rustic and planted shade coffee plantations of eastern Chiapas, Mexico. *Biotropica* 29:501-515.
- Hutcheson K. 1970. A test for comparing diversities based on the Shannon formula. *Journal of Theoretical Biology* 29:151-154.
- Longino JT, Colwell RK. 1997. Biodiversity assessment using structured inventory: capturing the ant fauna of a tropical rain forest. *Ecological Applications* 7:1263-1277.
- Medellín RA, Arita HT, Sánchez O. 1997. *Identificación de los murciélagos de México, clave de campo*. México, DF: Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C., 84 p.

- Medellín R, Equihua M, Amín M. 2000. Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in neotropical rainforest. *Conservation Biology* 14:1666-1675.
- Moguel P, Toledo VM. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13:11-21.
- Moreno CE, Halffter G. 2001. Spatial and temporal analysis of alfa, beta and gamma diversities of bats in a fragmented landscape. *Biodiversity and Conservation* 10:367-382.
- Numa C, Verdú JR, Sánchez-Palomino P. 2005. Phyllostomid bat diversity in a variegated coffee landscape. *Biological Conservation* 122:151-158.
- Perfecto I, Vandermeer J, Hanson P, Cartin V. 1997. Arthropod biodiversity loss and the transformation of a tropical agro-ecosystem. *Biodiversity and Conservation* 6:935-945.
- Perfecto I, Maas A, Dietsch T, Vandermeer J. 2003. Conservation of biodiversity in coffee agroecosystems: a tri-taxa comparison in southern Mexico. *Biodiversity and Conservation* 12:1239-1252.
- Pineda E, Moreno C, Escobar F, Halffter G. 2005. Frog, bat and dung beetle diversity in the cloud forest and coffee agroecosystems of Veracruz, Mexico. *Conservation Biology* 19:400-410.
- Ramírez-Pulido J, Arroyo-Cabrales J, Castro-Campillo A. 2005. Estado actual y relación nomenclatural de los mamíferos terrestres de México. *Acta Zoológica Mexicana* 21:21-82.
- S-PLUS. 2000. *Guide to Statistics*, Volume 1. Seattle, WA: Data Analysis Products Division, MathSoft, 638 p.
- Wilson D. 2002. *Murciélagos respuestas al vuelo*. Xalapa: Universidad Veracruzana. 196 p.

Apéndice 13.1. Número de murciélagos capturados en ocho fincas cafetaleras y un rancho con un fragmento de bosque mesófilo de montaña (CAÑ) de la zona central montañosa de Veracruz. La lista está ordenada por familia y por abundancia descendente. El gremio se refiere al tipo de alimentación predominante: F, frugívoro; N, nectarívoro; I, insectívoro; S, sanguívoro. Las fincas están ordenadas, de izquierda a derecha, de menor a mayor estructura de la vegetación y de mayor a menor intensificación de manejo.

Familia	Fincas										Subtotal	Gremio
	SOL	VSE	VCS	ONZ	VBM	ORD	ZOP	MIR	CAÑ			
Phyllostomidae												
<i>Sturnira ludovici</i>	1	5	5	43	38	10	8	11	83	204	F	
<i>Artibeus jamaicensis</i>	2	23	25	54	11	6	5	51	2	179	F	
<i>Dermanura tolteca</i>	2	17	7	18	12	1	1	40	5	103	F	
<i>Artibeus lituratus</i>	5	10	12	16	7	5	6	23		84	F	
<i>Sturnira lilium</i>		2	4	41	6	2	3	9	3	70	F	
<i>Artibeus intermedius</i>	8	5	7	20	2	9	6	7		64	F	
<i>Carollia brevicauda</i>	1			16	4	3	14	3	13	54	F	
<i>Glossophaga soricina</i>	4	5	3	1	4			7		24	N	
<i>Anoura geoffroyi</i>		3	2	4	1			10	1	21	N	
<i>Carollia perspicillata</i>	3	3		2	1			1	9	19	F	
<i>Centurio senex</i>		1						9		10	F	
<i>Choeroniscus godmani</i>	2	3	2	1	1				9	N		
<i>Chiroderma salvini</i>		1	2		1			4		8	F	
<i>Platyrrhinus helleri</i>		1						4		5	F	
<i>Chiroderma villosum</i>	1							2		3	F	
<i>Dermanura azteca</i>					1			2		3	F	
<i>Desmodus rotundus</i>			1						2	3	S	
<i>Enchisthenes hartii</i>					1					1	F	
<i>Micronycteris megalotis</i>	1									1	I	
<i>Uroderma bilobatum</i>					1					1	F	
Mormoopidae												
<i>Mormoops megalophylla</i>			1	2		3		1	7	1		
<i>Pteronotus parnellii</i>		1		2	2		1	1		7	I	
<i>Pteronotus davyi</i>			3				1		1	5	I	
Vespertilionidae												
<i>Eptesicus fuscus</i>								2		2	I	
<i>Myotis keaysi</i>									2	2	I	
Molossidae												
<i>Molossus rufus</i>					1		11			12	I	

Hongos saprobios y endomicorrizógenos en suelos

GABRIELA HEREDIA ABARCA Y ROSA M. ARIAS MOTA

Resumen

Con el propósito de valorar los cambios en la diversidad, abundancia y composición de los hongos saprobios (HS) y endomicorrizógenos (HE) del suelo, al sustituir el bosque mesófilo de montaña (BMM) en cafetales, se trabajó en 5 fincas con diferente estructura vegetal e intensidad de manejo y en un área con BMM. Para los HS no se detectaron diferencias en la diversidad y abundancia entre los sitios, en total se aislaron 1899 colonias de las cuales se distinguieron 415 morfoespecies. Para los HE, en total se aislaron 35,320 esporas de las que se diferenciaron 33 morfoespecies, en este caso, la diversidad y la abundancia fueron significativamente diferentes entre los sitios; el bosque (CAÑ) y la finca con policultivo diverso (ONZ) tuvieron los valores más altos de diversidad y en la finca con sombra especializada (VSE) se encontró la mayor abundancia de esporas. Para los HS los bajos valores en la similitud de especies entre las fincas y el bosque mesófilo, indican que más del 50% de las especies del bosque desaparecen al transformarse las áreas en cafetales. Para todas las fincas existe un buen balance entre especies patógenas y saprobias, en ningún caso se detectaron enfermedades fungosas causadas por fitopatógenos del suelo. La finca rústica (MIR) fue el cafetal que compartió el mayor número de especies con el bosque, tanto de HS como de HE.

Abstract

In order to evaluate changes in diversity, abundance and composition in saprotrophic (SF) and endomycorrhizal (EF) soil fungi, when cloud forest is transformed in coffee farms, we sampled in 5 coffee plantations with different biophysical structure and management practices, and one remnant fragment of cloud forest. For SF, a total of 415 morphospecies were detected from 1899 isolates. For this kind of fungi, there were not differences neither in the abundance nor in diversity values, in contrast, for EF, there were significant differences for both parameters among the study sites. From all samples 35,320 spores of EF were isolated and differentiated 33 morphospecies: the forest (CAÑ) and the diversified polyculture (ONZ) presented the higher diversity and the plantation with specialized shaded (VSE) had the greater spore abundance. For SF the more remarkable changes were at the species composition level, more than the 50% of the species from the cloud forest disappear in the coffee plantations. In general, for all coffee farms studied, we found a fair balance between pathogenic and saprotrophic species of fungus. The rustic coffee plantation (MIR) shares more species with the forest for both kind of fungi studied.

INTRODUCCIÓN

En el suelo converge una considerable riqueza de especies macro y microscópicas, entre estas últimas los hongos destacan por su alta diversidad, amplia distribución y abundancia. La mayor parte de las especies fúngicas se distribuye en los primeros horizontes y en la rizosfera de las plantas. Entre la micobiota edáfica se encuentran especies saprobias y simbioses, la actividad de cada una de ellas tiene importantes consecuencias en el funcionamiento, estructura y equilibrio de los ecosistemas (Dighton 2003).

La mayoría de los hongos del suelo son saprobios, esto significa que obtienen sus nutrimentos a partir de materiales orgánicos inertes como restos vegetales y animales. Junto con las bacterias y la macrofauna, los hongos saprobios participan en la descomposición de la materia orgánica. Mediante este proceso, además de aportar importantes cantidades de CO₂ a la atmósfera y eliminar los desechos de los ecosistemas, promueven el reciclaje de elementos esenciales para el crecimiento de las plantas mediante la liberación de moléculas al suelo que serán absorbidas por las raíces e incorporadas al metabolismo vegetal (Carlie y Watkinson 1994).

En cuanto a los hongos simbioses, las especies que forman micorrizas (asociaciones entre determinadas especies de hongos con las raíces de las plantas) tienen un gran impacto tanto en ecosistemas naturales como en agroecosistemas. Las micorrizas están presentes en el 90% de las plantas terrestres, de acuerdo con su morfología y fisiología se distinguen 7 tipos, entre los cuales las formas arbusculares o endomicorrizas son las más ampliamente distribuidas por lo tanto son las de mayor impacto en la naturaleza y en la agricultura (Harley y Smith 1983).

El efecto positivo de las endomicorrizas se manifiesta en las plantas hospedadoras al incrementarse su adecuación (reproducción y supervivencia) y la producción de biomasa. Los hongos, con sus delgados filamentos denominados micelio, actúan como extensiones del sistema radicular incrementando la superficie de absorción y por lo tanto la captación de nutrimentos. Además, se ha comprobado que las endomicorrizas le confieren a las plantas resistencia al estrés hídrico y protección contra patógenos (Smith y Read 1997).

Se conoce que las perturbaciones naturales e inducidas pueden alterar las poblaciones fúngicas del suelo,

en el caso particular de los agroecosistemas, la aplicación inadecuada de fertilizantes y plaguicidas tiene un efecto negativo en la abundancia de los propágulos (esporas y pedazos de micelio), lo que ocasiona en el caso de los hongos endomicorrizógenos una disminución en la asociación y consecuentemente las plantas son más susceptibles a un mayor daño por sequía y patógenos (Boddington y Dodd 2000, Oehl *et al.* 2003). De igual forma, la diversidad de los hongos endomicorrizógenos puede sufrir alteraciones por el manejo agrícola intensivo, en determinados ecosistemas como pastizales, los géneros *Scutelospora* y *Gigaspora* tienen una alta vulnerabilidad ante las perturbaciones (Lovera y Cuenca 2007). En lo que respecta a los hongos saprobios, en algunos agroecosistemas se han registrado cambios en la composición de la micobiota causados por el tipo de cultivo y manejo agrícola (Cabello *et al.* 2003, Gomez *et al.* 2007).

En el estado de Veracruz ante la constante modificación del bosque mesófilo de montaña (BMM) en fincas cafetaleras, es importante conocer la diversidad de los hongos saprobios y endomicorrizógenos en los relictos de BMM y valorar el impacto que tiene en estos organismos, la transformación del bosque en los diferentes tipos de agroecosistemas cafetaleros que se manejan en la región.

El objetivo global de esta contribución es determinar los cambios en la diversidad, abundancia y composición de las comunidades de hongos saprobios y endomicorrizógenos del suelo, al sustituir el bosque mesófilo en fincas cafetaleras con diferente estructura vegetal e intensidad de manejo. Como objetivos subyacentes se plantearon: a) Valorar si el tipo de finca afecta las variables estudiadas y b) Determinar en cuál tipo de finca se conserva una mayor similitud con el BMM en cuanto a la composición de las especies.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se trabajó en los 6 sitios establecidos en el proyecto (Cuadro 14.1), entre estos se incluye un área con BMM (CAÑ) y 5 fincas que por su complejidad estructural vegetal y manejo agrícola conforman un gradiente, que va desde un cafetal tipo monocultivo bajo sol (SOL) hasta un cafetal rústico con policultivo y elementos arbóreos del bosque mesófilo (MIR) (la descripción detallada de cada uno de los sitios en el Capítulo 2).

Cuadro 14.1. Lista de sitios de muestreo considerados para el estudio de los hongos saprobios y endomicorrizógenos del suelo.

Sitio	Nombre	Clave	Zona	Latitud y Longitud	Precip. media secas y lluvias	Tipo
1	Teocelo	SOL	Coatepec	19°22'53", 96°59'17"	309.2 1554.0	Café de sol
2	De la Vequia	VSE	Huatusco	19°12'22", 96°53'4"	304.02 1499.3	Sombra especializada
3	La Onza	ONZ	Coatepec	19°25'56", 96°57'50"	298.2 1477.8	Policultivo diverso
4	Orduña	ORD	Coatepec	19°27'59", 96°56'3"	275.9 1176.2	Policultivo sencillo
5	El Mirador cafetal	MIR	Huatusco	19°12'57", 96°53'7"	365.9 1794	Rústico
6	Las Cañadas*	CAN	Huatusco	19°11'27", 96°59'18"	325.8 1638.5	Bosque

* Sitio control.

Para cada sitio se efectuaron 3 recolectas, en cada finca se trabajó en 5 de los puntos establecidos en el proyecto, los cuales se tomaron aleatoriamente. En cada punto se consideró como centro una planta de café, a partir de la cual se trazaron 4 ejes en forma de cruz (50 cm de largo c/u), en el extremo de cada eje se tomaron las muestras (aprox. 50 g de suelo) a una profundidad de 0-10 cm. Posteriormente, en el laboratorio las 4 muestras se entremezclaron para obtener una muestra mixta. El suelo se secó a temperatura ambiente y se almacenó a 5 °C hasta su procesamiento para el aislamiento de los hongos.

Aislamiento de hongos saprobios. Se empleó la técnica de filtración de partículas o lavado de suelo (Bills *et al.* 2004), que consiste en someter las muestras (1 g de suelo peso seco) a un lavado intenso a través de microtamices (51 mm de diámetro/malla de 105 µm), lo anterior con el fin de eliminar esporas contaminantes y dejar únicamente las partículas de suelo con pedazos de micelio. Una vez realizados los lavados, las partículas se siembran en placas con un medio de cultivo propicio para el desarrollo de los hongos. Esta técnica disminuye la incidencia de especies de rápido crecimiento que inhiben la expresión de una mayor diversidad fúngica.

De cada punto se tomaron 50 partículas y se inocularon en 10 cajas de Petri con el medio de cultivo agar-dicloran-rosa de Bengala-cloranfenicol (DRBC Lab. DIFCO 258710), de esta forma y dado que se

trabajó en cinco puntos, para cada sitio se inocularon 250 partículas. Diariamente se revisaron las cajas y las colonias emergentes se cuantificaron, sembraron y purificaron en tubos con medio de cultivo para su posterior identificación taxonómica. Para la ubicación a nivel de especie de los géneros *Penicillium*, *Fusarium*, *Aspergillus* y *Trichoderma* se emplearon metodologías especializadas siguiendo el protocolo para cada caso (Pitt 1988, Booth 1971, Klich 1988, Gams y Bissett 1998). Para el resto de las colonias, se consultó una gran cantidad de textos y artículos científicos entre los más empleados están los compendios de Domsch *et al.* (1980) y Matsushima (1971, 1975).

Aislamiento de esporas de hongos endomicorrizógenos. Se utilizó la técnica de Tommerup (1992), la cual consiste en el lavado de suelo (100 g peso seco) en tamices (malla de 250, 150 y 50 µm) y centrifugado con sacarosa. La cuantificación se realizó con ayuda de un microscopio estereoscópico para lo cual se elaboraron preparaciones permanentes con alcohol polivinílico con y sin reactivo de Melzer para su identificación. La determinación taxonómica se realizó mediante las claves taxonómicas de Schenck y Pérez (1988) y Morton (1988), así como mediante la consulta de la página <http://www.invam.cat.wvu.edu//> y artículos específicos.

Valoración de los parámetros estudiados. Para todos los sitios se determinó la riqueza de especies (total de especies detectadas), la abundancia de los hongos

saprobios indicada como el número de colonias aisladas y la abundancia de los hongos endomicorrizógenos indicada por el número de esporas. La diversidad se calculó mediante el índice de Shannon-Wiener (H') para lo cual se empleó el software “Species diversity and Richness” 3.0.

Para detectar diferencias en cuanto a la abundancia y diversidad, mediante el programa Statistica se realizaron ANOVAS, seguido por pruebas de comparación múltiple de Tukey.

El esfuerzo de muestreo fue evaluado por medio del estimador no-paramétrico de diversidad Chao 1 (Magurran 2004).

Para calcular la similitud de la composición de especies entre los sitios se aplicó el índice de Jaccard (Magurran 2004) que considera datos de presencia-ausencia. Tomando en cuenta las abundancias de cada especie, también se realizaron: a) un análisis de similitud de Bray-Curtis para agrupar los sitios en clusters y b) una ordenación no métrica multidimensional (MDS) (Magurran 2004), la cual permite visualizar las similitudes entre sitios por medio de distancias en dos dimensiones; ambos análisis se efectuaron con el programa Primer 5.

Mediante un análisis de regresión lineal simple, se investigó la relación entre la riqueza, diversidad y abundancia de los hongos saprobios y endomicorrizógenos con los resultados de la estructura y manejo de los sitios de estudio (Capítulo 2) y con algunas propiedades fisicoquímicas del suelo como son: contenido de fósforo, nitrógeno, pH, retención de fósforo, porosidad y contenido de materia orgánica (Capítulo 15).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hongos saprobios

La detección y cuantificación de los hongos microscópicos saprobios es compleja y laboriosa, las diferentes técnicas para su estudio pueden exponer panorámicas distintas, en el caso particular del método empleado (filtración de partículas o lavado de suelo), las especies recuperadas provienen principalmente de fragmentos de hifas asociadas a las partículas de suelo (Bills *et al.* 2004). Tomando en cuenta que la forma activa de los hongos es a través de su fase somática, la cual está compuesta de hifas, las especies detectadas pueden considerarse como componentes activos de la microbiota de los suelos estudiados.

Los resultados del estimador Chao1, para valorar el esfuerzo de colecta (Cuadro 14.2a) indican que con los tres muestreos realizados se alcanzó un nivel de inventario por arriba del 70% en todos los sitios. En el bosque (CAÑ) se obtuvo el menor porcentaje de recuperación, según el estimador Chao1 faltarían 49 especies por detectar. Lo anterior sugiere que a nivel del bosque existe un mayor porcentaje de rareza, lo que seguramente tiene relación directa con la diversidad de restos vegetales que se acumulan en el mantillo del suelo del bosque y con la especificidad que presentan algunas especies de hongos para desarrollarse en diferentes tipos de sustratos con mayor o menor compuestos lignocelulósicos.

En total se aislaron 1899 colonias de hongos saprobios, entre las que se distinguieron 415 morfoespecies, de las cuales 186 se determinaron a nivel de especie, 61 se identificaron a nivel de género, 31 quedaron como grupo y 137 no fueron determinadas, debido a que no desarrollaron estructuras de reproducción, las cuales son necesarias para su identificación taxonómica.

La alta proporción de morfoespecies estériles, no afecta los resultados obtenidos, ya que para cada caso se cuantificó su abundancia y se caracterizó según el tipo de micelio y morfología de las colonias. En todos los trabajos sobre hongos del suelo muchos de los aislamientos no llegan a producir esporas, probablemente entre los micelios estériles se encuentran especies que requieren de sustratos naturales o la presencia de algún compuesto determinado para inducir los mecanismos de esporulación.

La incidencia de las especies saprobias en los 6 sitios fue muy variable, el 90% de ellas estuvo presente únicamente en uno, dos o tres de los sitios y en bajas proporciones; en cambio, solo las especies *Geotrichum candidum*, *Penicillium implicatum*, *Ramichloridium schulzeri*, *Trichoderma creneauum* y *T. koningii* estuvieron presentes en el bosque y en todas las fincas. Los géneros detectados en todos los sitios y con mayor número de especies fueron: *Chaetomium*, *Fusarium*, *Penicillium* y *Trichoderma* (Apéndice 14.1). La abundancia de algunos géneros varió significativamente según el tipo de finca, tal es caso de *Fusarium*, el cual es más diverso y abundante en los cafetales con menor complejidad biofísica (SOL y VSE). Dentro de *Fusarium*, se incluyen importantes especies fitopatógenas, causantes de pudriciones en raíces, marchitamientos y daños en semillas (Agrios 1997). De las especies del suelo registradas como fitopatógenas para el café (www.apsnet.org) se detectaron *F. oxyspo-*

Cuadro 14.2. Riqueza específica, abundancia, diversidad (Índice de Shannon H'), y estimador de riqueza Chao1 para los hongos del suelo en los 6 sitios estudiados: a) hongos saprobios; b) hongos endomicorrizógenos.

a) Hongos saprobios

Sitio	Tipo de Manejo	Riqueza específica	Abundancia No. de colonias	Diversidad (H')	Estimador Chao1
SOL	Monocultivo bajo sol	121	358	4.1	148
VSE	Sombra especializada	130	341	4.2	169
ONZ	Policultivo diverso	121	327	4.2	155
ORD	Policultivo sencillo	119	267	4.3	136
MIR	Cafetal rústico	125	332	4.0	161
CAÑ	Bosque mesófilo	130	274	4.5	179

b) Hongos endomicorrizógenos

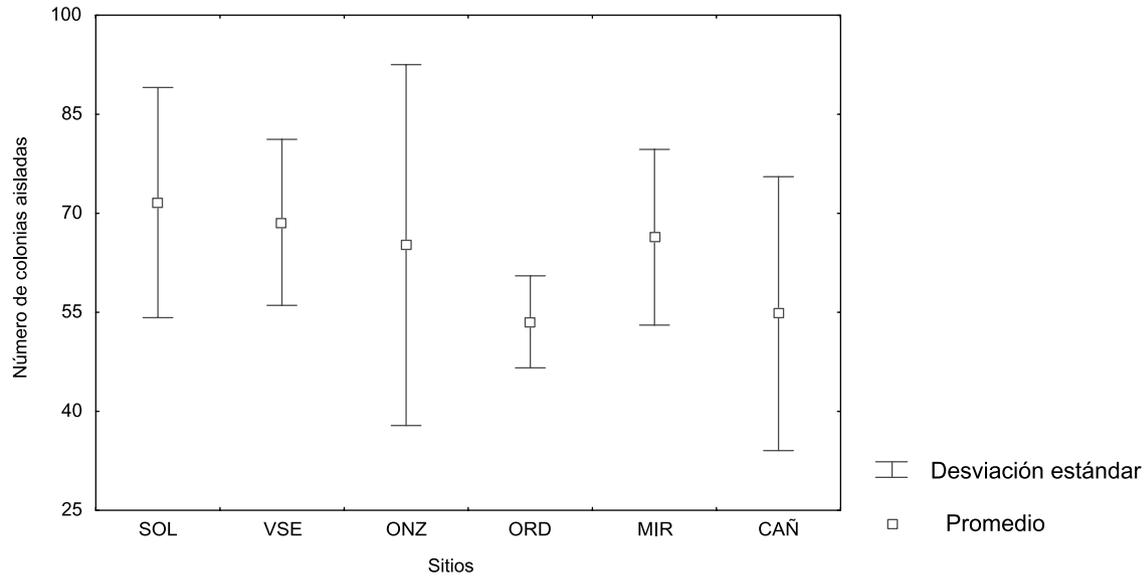
Sitio	Tipo de Manejo	Riqueza específica	Abundancia No. de esporas	Diversidad (H')	Estimador Chao1
SOL	Monocultivo bajo sol	20	3555	1.8	20
VSE	Sombra especializada	23	11393	1.2	23
ONZ	Policultivo diverso	19	4332	1.9	19
ORD	Policultivo sencillo	21	2939	1.7	21
MIR	Cafetal rústico	24	5678	1.1	24
CAÑ	Bosque mesófilo	16	7423	1.9	16

rum, *F. solani* y *F. stilboides*, todas en baja abundancia y en las fincas con menor cobertura vegetal y mayor manejo tecnificado. En ninguna finca se observaron síntomas de daños en las plantas, lo que indica que en los sitios donde se encuentran estos fitopatógenos, existe un buen balance entre las especies saprobias y patógenas, sin embargo, ante la presencia de estos hongos, está latente la posibilidad de que se expresen dañinamente si las condiciones ambientales y biológicas les favorecen.

Con respecto a la riqueza de especies (Cuadro 14.2a), no se aprecia una marcada diferencia entre los sitios; el mayor valor (130) se obtuvo para el bosque (CAÑ) y el menor

(119) para el policultivo sencillo (ORD). En cuanto a la abundancia, el número de colonias más alto correspondió a los sitios con mayor manejo tecnificado y con menor cobertura vegetal a nivel del dosel (monocultivo bajo sol y con sombra especializada). Sin embargo, por los altos valores de las desviaciones estándar, en los análisis de varianza (Figura 14.1a) no se detectaron diferencias significativas entre los sitios. Al respecto cabe mencionar que las comunidades de hongos en el suelo tienen una distribución irregular, pudiéndose presentar altas diferencias entre los puntos de muestreo, consecuentemente, es común que en este tipo de estudios los datos presenten cantidades muy variables.

a) Hongos saprobios



b) Hongos endomicorrizógenos

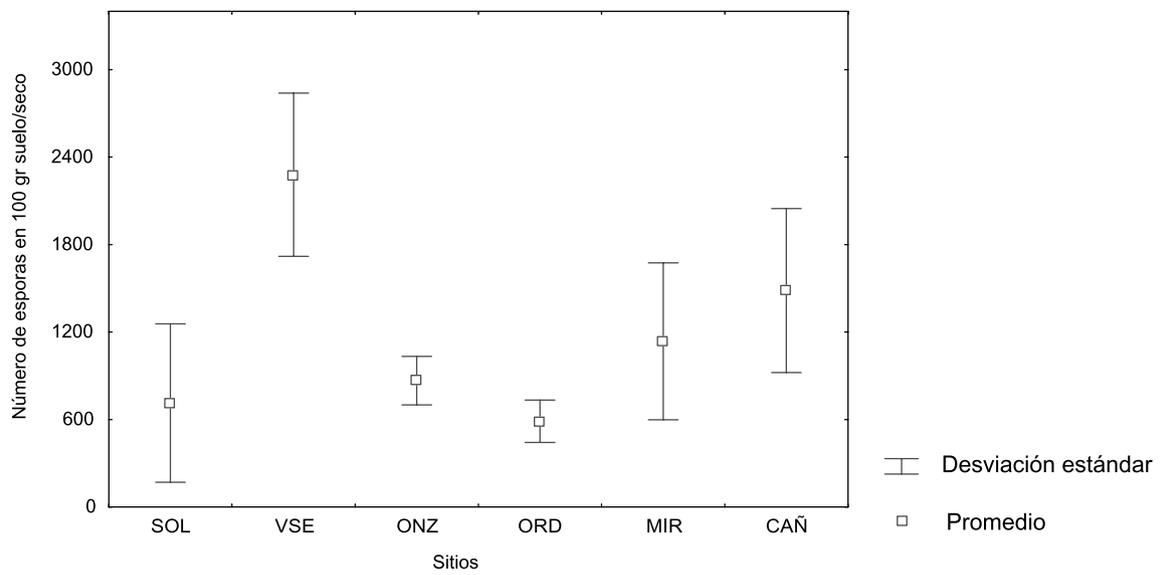


Figura 14.1. Valores de abundancia relativa en los sitios estudiados: a) Abundancia de hongos saprobios (número de colonias aisladas en 750 partículas de suelo). b) Abundancia de hongos endomicorrizógenos (número de esporas en 100 g de suelo seco).

En general los valores del índice de diversidad H' para todos los sitios son altos (Cuadro 14.2a), lo cual es de esperarse dado que los hongos son considerados como un grupo megadiverso. El mayor valor para la diversidad (4.5) correspondió al bosque (CAÑ), en donde la variedad y cantidad de la materia orgánica que constantemente es depositada al suelo favorece la proliferación de diferentes grupos fúngicos, de tal forma es posible detectar especies típicas que habitan en los primeros horizontes edáficos y especies asociadas a los restos vegetales en proceso de humificación. En el cafetal bajo sol (SOL) se esperaba encontrar los valores más bajos, sin embargo, el nivel de diversidad estimado para esta finca, es semejante al de los otros sitios e incluso ligeramente superior al del cafetal rústico, aunque estadísticamente no hay diferencias entre los 6 sitios.

La presencia de una alta diversidad en la finca bajo sol puede atribuirse a la proliferación de compuestas y gramíneas que en ciertas épocas llegan a cubrir el estrato herbáceo. La alta densidad de hierbas alrededor de las plantas del café, crean a nivel del suelo un microhábitat en el que se amortiguan los cambios climatológicos y aumenta la disponibilidad de materia orgánica por los exudados y biomasa radicular de las

hierbas. Aun cuando en las prácticas agrícolas, son eliminadas las malezas, las raicillas muertas de las plantas son sustratos idóneos para el desarrollo de especies saprofitas.

En cuanto al nivel de similitud en la composición de los hongos saprobios (Cuadro 14.3a), los valores del índice de Jaccard denotan una baja proporción de especies compartidas entre los sitios. De acuerdo con estos resultados, aun en el cafetal rústico (MIR) en donde se detectó el mayor número de especies compartidas con el bosque mesófilo (39), alrededor del 70% de los hongos del bosque desaparecen.

En el dendrograma obtenido mediante el índice de Bray-Curtis (Figura 14.2a) se aprecian 2 conglomerados; en uno se encuentra el bosque (CAÑ) y en el otro quedan agrupados todos los cafetales. El clado de los cafetales a su vez está dividido en tres; uno es compartido entre el cafetal bajo sol (SOL) con el cafetal con sombra especializada (VSE), otro es compartido entre las fincas con policultivo sencillo (ORD) y diverso (ONZ), en forma independiente quedó el cafetal rústico (MIR). El análisis de ordenación multidimensional (MDS) (Figura 14.2a) separó los sitios de la misma manera y muestra la disimilitud entre el bosque y los

Cuadro 14.3. Similitud en la composición de las comunidades de hongos del suelo en los 6 sitios estudiados: a) hongos saprobios; b) hongos endomicorrizógenos. Valores del índice de similitud de Jaccard (área superior derecha); número de especies compartidas (área inferior izquierda). Los valores más cercanos a 1 indican mayor similitud entre los sitios.

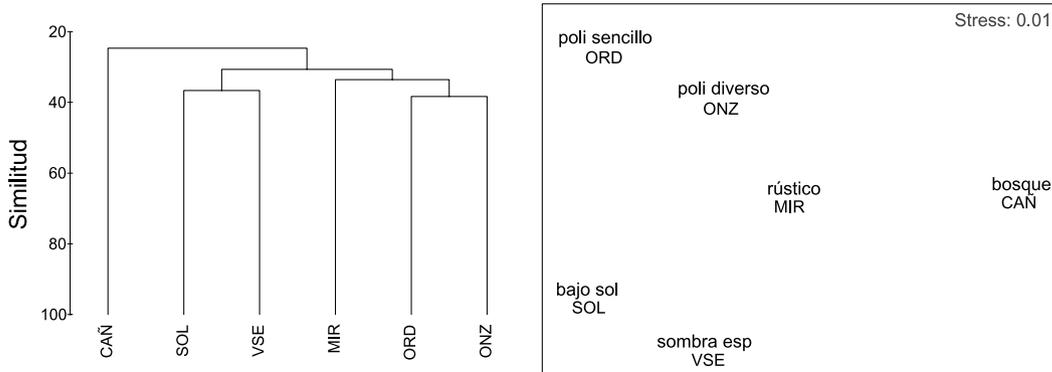
a) Hongos saprobios

SITIOS	SOL	VSE	ONZ	ORD	MIR	CAÑ
SOL Monocultivo bajo sol		0.22	0.18	0.20	0.18	0.14
VSE Sombra especializada	46		0.16	0.19	0.20	0.15
ONZ Policultivo diverso	37	35		0.25	0.20	0.12
ORD Policultivo sencillo	41	41	48		0.22	0.17
MIR Cafetal rústico	39	43	41	45		0.18
CAÑ Bosque mesófilo	31	34	28	37	39	

b) Hongos endomicorrizógenos

SITIOS	SOL	VSE	ONZ	ORD	MIR	CAÑ
SOL Monocultivo bajo sol		0.72	0.50	0.57	0.57	0.48
VSE Sombra especializada	18		0.55	0.63	0.74	0.50
ONZ Policultivo diverso	13	15		0.73	0.53	0.45
ORD Policultivo sencillo	15	17	17		0.60	0.42
MIR Cafetal rústico	16	20	15	17		0.51
CAÑ Bosque mesófilo	12	13	11	11	13	

a) Hongos saprobios



b) Hongos endomicorrizógenos

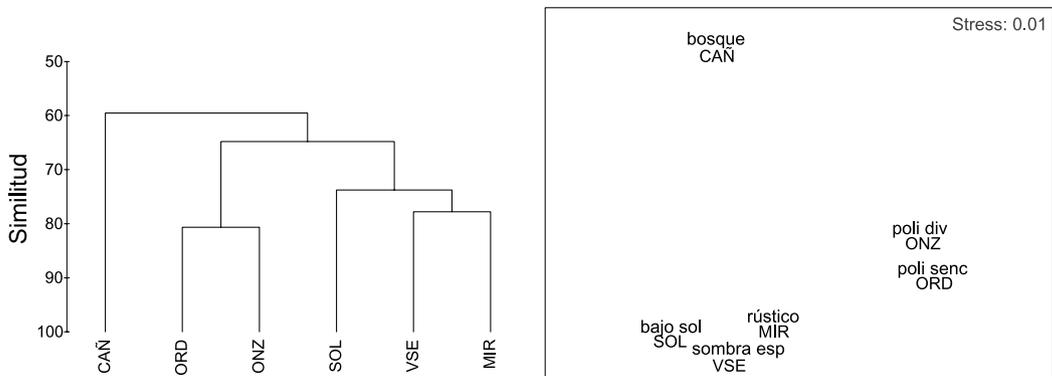


Figura 14.2. Dendrogramas de similitud de Bray-Curtis para las comunidades de hongos en suelos de los 6 sitios analizados: a) hongos saprobios; b) hongos endomicorrizógenos. Adjunto se encuentra la ordenación multidimensional (MDS). Las distancias representan los rangos de las disimilitudes entre los 6 sitios con un bajo factor de estrés de 0.01.

cafetales, en este mapa puede visualizarse que el cafetal rústico (MIR) está más cercano al bosque (CAÑ) que al resto de las fincas.

Los resultados de las regresiones lineales indican que existe una correlación negativa entre la estructura de la vegetación y la abundancia de colonias de hongos saprobios (62% de la varianza; $P = 0.06$); a menor estructura vegetal la abundancia de colonias es mayor (Figura 14.3). Este comportamiento puede estar relacionado con la proliferación de especies altamente competitivas y menos específicas, al respecto, como se puede apreciar en el apéndice, para la finca bajo sol, se detectaron altas abundancias en especies del género *Fusarium*, el cual se caracteriza por su prolífero desarrollo (Gams *et al.* 1980).

Hongos endomicorrizógenos

Los resultados del estimador de diversidad Chao 1 muestran que se alcanzó un máximo de nivel de inventario en todos los sitios (Cuadro 14.2b). Entre los ocho géneros reconocidos para los hongos endomicorrizógenos se determinaron los siguientes: *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus* y *Scutelospora*.

En total se aislaron 35,320 esporas, de las cuales se distinguieron 33 morfoespecies; 23 fueron identificadas a nivel de especie y 10 quedaron a nivel genérico debido a que muy probablemente se trata de nuevos taxones para la ciencia.

Destacaron por su abundancia los géneros *Acaulospora* y *Glomus* los cuales incluyen el 87% del total de las especies aisladas (véase apéndice). A diferencia

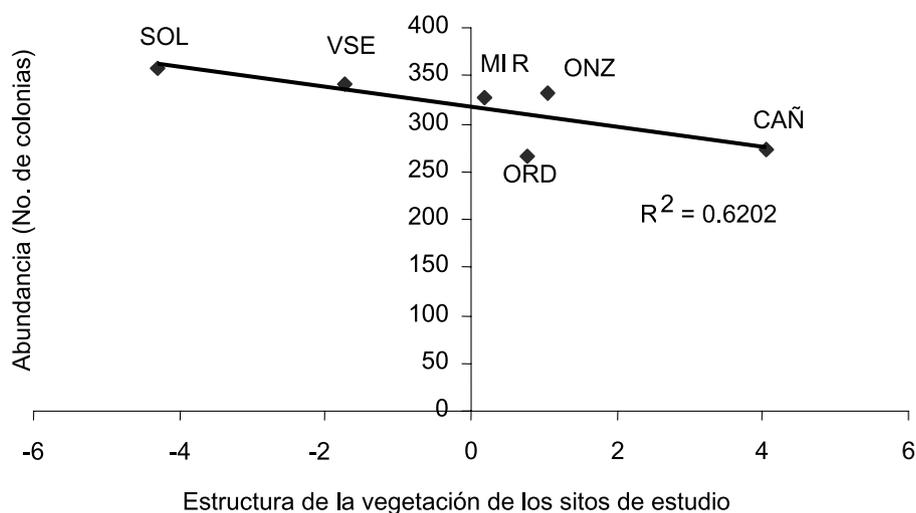


Figura 14.3. Regresión lineal entre la abundancia de hongos saprobios (número de colonias aisladas) y la estructura biofísica de la vegetación de los sitios de estudio (SOL, VSE, ONZ, ORD, MIR, CAÑ).

de los hongos saprobios, la mayoría de las especies endomicorrizógenas tuvieron una amplia distribución y alta abundancia; alrededor del 50% de las especies estuvieron presentes en la mayoría de los sitios de estudio. Las especies *Glomus clarum* y *Glomus* sp. 3 fueron las más abundantes y *Acaulospora dilatata*, *A. delicata*, *A. excavata*, *A. scrobiculata*, *A. sp. 1* y *A. sp. 2* fueron las de mayor distribución (Apéndice 14.2).

Las diferencias en la abundancia de esporas entre los sitios fue significativa ($F = 2.54$, $P < 0.05$). El elevado número de esporas de *Glomus intraradices* (7303) en la finca con sombra especializada (VSE), determinó estos resultados (Figura 14.1b), en segundo término en el bosque fue en donde se obtuvieron los valores más altos, en este caso las especies más abundantes fueron *Glomus* sp. 3 y *Glomus fasciculatum*.

Entre los factores que afectan la abundancia de los hongos endomicorrizógenos, la concentración de fósforo disponible juega un papel importante. Se ha comprobado que en suelos con alto contenido de fósforo se presenta un efecto inhibitorio (Bolan 1991). Ante tal situación es posible que la alta cantidad de esporas en la finca con sombra especializada (VSE) esté relacionada con la baja concentración de fósforo disponible detectada en dicho sitio (Capítulo 16). Igualmente, para los valores del índice de diversidad se obtuvieron diferencias significativas entre los sitios ($F = 9.26$, $P < .00005$); el bosque (CAÑ) y el policultivo diverso (ONZ) tuvieron el valor más alto ($H' = 1.9$) (Cuadro 14.3b).

En cuanto a la similitud de la composición de los hongos endomicorrizógenos, el sitio de bosque (CAÑ) compartió un mayor número de especies con el cafetal de manejo rústico (MIR) y con el de sombra especializada (VSE). A diferencia de los hongos saprobios, en los hongos endomicorrizógenos, un alto número de las especies encontradas en el bosque fueron detectadas de nuevo en los cafetales, lo que indica que para este tipo de hongos la transformación del bosque en cafetales afecta en menor grado la composición de especies.

El análisis de conglomerados (Figura 14.2b) separó en 2 clados los sitios de estudio, en uno se encuentra el bosque (CAÑ) y en el segundo las fincas. En este último se distinguen tres grupos: los dos policultivos (ORD y ONZ) en uno, el cafetal rústico (MIR) y el cafetal con sombra especializada (VSE) en otro, y en forma independiente queda la finca bajo sol (SOL). La representación geográfica de estos resultados se muestra en la Figura 14.2b, en donde claramente el bosque queda separado de las fincas cafetaleras. Aun cuando la mayoría de las especies de hongos endomicorrizógenos están en todos los sitios estudiados, determinadas especies son marcadamente más abundantes en el bosque. Tal es el caso de *Acaulospora delicata*, *A. dilatata*, *A. scrobiculata*, *A. sp. 2* y *Glomus* sp. 3, lo que indica que estas especies son susceptibles a la transformación de la vegetación primaria y que su mayor potencial de inóculo se encuentra en el bosque.

Glomus clarum destacó por su elevada abundancia en todo los sitios, este hongo tiene la capacidad de pro-

ducir una alta cantidad de esporas en la fase inicial de la infección. Se ha comprobado que tiene preferencia por suelos ácidos y neutros y una alta eficiencia en el establecimiento de plantaciones en campo (Caproni *et al.* 2003). No se encontró correlación entre la riqueza, abundancia y diversidad de esporas con la estructura, manejo y análisis fisicoquímicos de las fincas.

En resumen, la respuesta de las comunidades de los hongos saprobios y los endomicorrizógenos al manejo y estructura de las fincas cafetaleras es diferente; para los hongos saprobios el cambio más significativo se manifiesta a nivel de la composición de especies y para los hongos endomicorrizógenos a nivel de la abundancia de esporas.

Para ambos tipos de hongos, el mayor valor de diversidad se obtuvo en el bosque, sin embargo, los resultados para las 5 fincas denotan que en todos los sitios hay un alto nivel de diversidad, esto nos permite concluir que el manejo agrícola en los sitios estudiados no llega a ocasionar transformaciones drásticas que repercutan en la diversidad de la microbiota edáfica.

Tanto para los hongos saprobios como para los endomicorrizógenos, en el cafetal rústico (MIR) se encontraron los mayores valores de similitud con el bosque, no obstante para los hongos saprobios, aun en el cafetal rústico, el porcentaje de especies compartidas es muy bajo, lo que sugiere que para este tipo de organismos la transformación de la vegetación conlleva una importante pérdida del germoplasma nativo del BMM.

De los resultados obtenidos se desprende que el BMM es un ecosistema altamente diverso en hongos microscópicos del suelo y que las fincas cafetaleras de la región, son importantes reservorios de especies fúngicas saprobias y simbioses. Los datos recopilados nos permiten responder los objetivos planteados y proporcionan las bases para subsecuentes investigaciones que profundicen en la participación de las especies microbianas saprobias y simbioses en la funcionalidad de los procesos edáficos.

RECOMENDACIONES

El número de morfoespecies recuperadas para los hongos saprobios permite visualizar una panorámica satisfactoria de su elevada diversidad, no obstante, tomando en cuenta el resultado del estimador Chao 1 es recomendable la realización de por lo menos un

muestreo más para detectar un mayor número de especies, sobre todo en el área de bosque (CAN).

Para los hongos endomicorrizógenos, la elevada recuperación de especies, permite un alto grado de confiabilidad en los resultados. Los datos obtenidos para este tipo de hongos, conducen al planteamiento de futuras investigaciones encaminadas a la reproducción y valoración de cepas nativas que mejoren el crecimiento de las plantas de café a nivel de almácigo y de campo. Entre las especies que podrían estudiarse están *Glomus clarum*, *Glomus* sp. 3 y *Acaulospora dilatata* las cuales, por su alta abundancia y amplia distribución pueden considerarse como exitosamente adaptadas a las condiciones edafológicas de la zona.

El empleo de endomicorizas como biofertilizantes apoya la certificación del producto, además de ser un método amigable con el ambiente, fortalece el desarrollo de las plantas reduciendo la incidencia de enfermedades radicales y aéreas. Entre estas últimas se encuentra la roya del café, la cual es ocasionada por el hongo *Hemileia vastatrix* y constituye una de las enfermedades de mayor importancia para este cultivo. Es importante señalar que en ningún sitio se observaron daños significativos causados por este patógeno, el cual aumenta su agresividad cuando las plantas presentan condiciones de estrés y déficit nutricional. La ausencia de enfermedades fungosas en las fincas y la baja incidencia de especies fitopatógenas a nivel del suelo revelan un adecuado balance entre la poblaciones saprobias y simbioses de hongos.

Se recomienda el empleo de abono orgánico para promover el desarrollo de las especies saprobias y evitar las frecuentes aplicaciones de fertilizantes fosforados, con la finalidad de estimular el desarrollo de las especies endomicorrizógenas.

AGRADECIMIENTOS

En la realización de este trabajo contamos con la ayuda técnica del Químico Benito Castellanos y de los biólogos Cinthya Becerra Hernández y Fortunato de la Merced a quienes agradecemos su valioso apoyo. En la identificación de los hongos endomicorrizógenos fue de gran ayuda la asesoría de las doctoras Marta Cabello, Ma. Silvana Velázquez y Gabriela Irrazábal de la Universidad de La Plata. En la identificación y purificación de los hongos saprobios intervinieron las doctoras Alicia Martínez y Ma. Alejandra Rodríguez

de la Universidad de Buenos Aires, Argentina. Además del financiamiento por parte de la SEMARNAT, el programa CYTED apoyó la colaboración de las personas mencionadas, mediante la red XII.J (Red Iberoamericana sobre diversidad, ecología y uso de los hongos microscópicos).

REFERENCIAS

- Agrios GN. 1997. *Plant Pathology*. 4th Ed. New York: Academic Press. 635 p.
- Bills GF, Christensen M, Thorm G. 2004. Saprobic soil fungi. En: Muller, Bill G y Foster MS. *Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods*. Elsevier: Academic Press. 271-301.
- Boddington CL, Dodd JC. 2000. The effect of agricultural practices on the development of indigenous arbuscular fungi. II. Studies in experimental microcosms. *Plant and Soil* 218:145-157.
- Bolan NS. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil* 134:189-207.
- Booth C. 1971. The Genus *Fusarium*. Great Britain: The Eastern Press. 237 p.
- Cabello M, Miguelaon, Velázquez S. 2003. Diversity, structure, and evolution of fungal communities in soils under different agricultural management practices. *Boletín de la Sociedad Botánica de Argentina* 38:225-232.
- Caproni, AL, Franco AA, Berbara RLL, Granha JRDD, Ribeiro EMD, Saggin, EOJ. 2003. Infective capacity of arbuscular mycorrhizal fungi in reforested areas after bauxite mining in the Para State, Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 38(8):937-945.
- Carlie MJ, Watkinson SC. 1994. *The Fungi*. Nueva York. 482 p.
- Dighton J. 2003. *Fungi in Ecosystem Processes*. New York: Marcel Dekker. 432 p.
- Domsch KH, Gams W, Anderson T. 1988. *Compendium of soil fungi*. London: Academic Press. 859 p.
- Gams N, Bissett J. 1980. Morphology and identification of *Trichoderma*. En Kubicek CP y Harman GE editores. *Trichoderma and Gliocladium* vol 1. Basic biology, taxonomy and genetics. British: Taylor & Francis. 3-34.
- Gomez E, Pioli R, Conti M. 2007. Fungal abundance and distribution as influenced by clearing and land use in a vertic soil of Argentina. *Biology and Fertility of Soils* 43:373-377.
- Klinch M, Pitt JI. 1988. A Laboratory guide to common *Aspergillus* species and their Teleomorphs. Published by Commonwealth scientific and Industrial Research Organisation, Division of Food Processing. 116 p.
- Harley JL, Smith SE. 1983. *Mycorrhizal symbiosis*. London and New-York: Academic Press. 483 p.
- Lovera M, Cuenca G. 2007. Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y potencial micorrízico del suelo de una sabana natural y una sabana perturbada de la Gran Sabana, Venezuela. *Interciencia* 32:108-114.
- Magurran A. 2004. *Measuring biological diversity*. Malden: Blackwell. 256 p.
- Matshushima T. 1971. *Microfungi of the Solomon Islands and Papua-New Guinea*. Japan: Kobe. 78 p.
- Matshushima T. 1975. *Icones microfungorum a Matshushima lectorum*. Japan: Kobe 209 p.
- Morton JB. 1988. Taxonomy of VA mycorrhizal fungi: classification, nomenclature and identification. *Mycotaxon* 32:267-324.
- Oehl F, Sieverding E, Ineichen K, Mader P, Boller T, Wiemken A. 2003. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of central Europe. *Applied and Environmental Microbiology* 69:2816-2824.
- Pitt JI. 1988. A Laboratory guide to common *Penicillium* species. Published by Commonwealth scientific and Industrial Research Organisation, Division of Food Processing. 187 p.
- Schenck NC, Pérez Y. 1988. *Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi*. Gainesville: Synergistic Publications. 286 p.
- Smith SE, Read DJ. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*. 2nd ed. London: Academic Press. 605 p.
- Tommerup IC. 1992. Methods for the study of the population biology of vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi. En: Norris JR, Read DJ, Varma AK editores. *Methods in Microbiology*. Vol 24. Techniques for the study of mycorrhiza. London: Academic Press. 23-51.
- www.invam.caf.wvu.edu (consultada en 2006)
- www.apsnet.org (consultada en febrero del 2007).

APÉNDICE 14.1. LISTA DE ESPECIES DE HONGOS SAPROBIOS Y SU ABUNDANCIA (NÚMERO DE COLONIAS), ENCONTRADAS EN EL SUELO DE LAS 5 FINCAS CAFETALERAS Y EN UN FRAGMENTO DE BOSQUE MESÓFILO.

ESPECIES	Monocultivo bajo sol SOL	Sombra especializada VSE	Policultivo diverso ONZ	Policultivo sencillo ORD	Cafetal rústico MIR	Bosque mesófilo CAÑ
<i>Absidia cylindrospora</i>	1	0	5	1	0	0
<i>Absidia glauca</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Acremonium byssoides</i>	1	0	0	1	1	0
<i>Acremonium chrysogenum</i>	0	0	1	0	0	2
<i>Acremonium kiliense</i>	0	0	0	1	0	2
<i>Acremonium murorum</i> var. <i>murorum</i>	3	0	0	0	1	3
<i>Acremonium persicinum</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Acremonium potroni</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Acremonium roseolum</i>	0	0	0	0	1	3
<i>Acremonium tubakii</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Alysiidiopsis</i> sp.	0	0	0	0	3	0
<i>Ambivina filobasidia</i>	0	2	0	1	2	0
<i>Anungitopsis</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Arthrobotrys conoides</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Aspergillus caespitosus</i>	0	0	2	0	0	0
<i>Aspergillus cervinus</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Aspergillus niger</i> var. <i>niger</i>	0	0	2	0	0	0
<i>Aspergillus puniceus</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Aspergillus sydowii</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Aspergillus tamarii</i>	2	2	0	0	0	0
<i>Aspergillus versicolor</i>	1	3	0	0	0	0
<i>Asteroma microspermum</i>	0	0	0	5	0	0
<i>Beauveria bassiana</i>	0	2	0	1	0	1
<i>Bipolaris hawaiiensis</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Chaetomium ampullare</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Chaetomium aureum</i>	1	3	7	0	1	0
<i>Chaetomium cochlioides</i>	0	0	0	8	0	0
<i>Chaetomium cymbiforme</i>	1	2	0	0	0	0
<i>Chaetomium funicola</i>	0	2	1	0	0	0
<i>Chaetomium fusiforme</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Chaetomium globosporum</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Chaetomium homopilatum</i>	0	1	0	1	0	0
<i>Chaetomium piluliferum</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Chaetomium</i> sp. 1	0	1	0	0	0	0
<i>Chaetomium</i> sp. 2	0	0	0	0	0	3
<i>Chaetomium spinosum</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Chloridium virescens</i> var. <i>chlamydosporum</i>	1	0	2	2	1	1
<i>Chrysosporium georgiae</i>	2	0	0	0	0	0
<i>Chrysosporium luteum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Chrysosporium</i> sp. 1	1	0	0	0	0	0
<i>Chrysosporium</i> sp. 2	3	0	0	0	0	0
<i>Chrysosporium</i> sp. 3	0	0	0	5	0	0
<i>Chuppia</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Cladobotryum variospermum</i>	0	0	0	0	2	0
<i>Cladosporium bisporum</i>	2	2	0	0	2	0
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	3	4	4	0	1	8
<i>Cladosporium oxysporum</i>	0	1	1	0	0	0
<i>Cladosporium sphaerospermum</i>	1	1	0	0	0	1
<i>Costantinella</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Cylindrocarpon congoense</i>	0	0	0	0	0	2
<i>Cylindrocarpon didymum</i>	1	4	0	0	2	0

APÉNDICE 14.1. LISTA DE ESPECIES DE HONGOS SAPROBIOS Y SU ABUNDANCIA (NÚMERO DE COLONIAS), ENCONTRADAS EN EL SUELO DE LAS 5 FINCAS CAFETALERAS Y EN UN FRAGMENTO DE BOSQUE MESÓFILO. (CONTINUACIÓN)

ESPECIES	Monocultivo bajo sol SOL	Sombra especializada VSE	Policultivo diverso ONZ	Policultivo sencillo ORD	Cafetal rústico MIR	Bosque mesófilo CAÑ
<i>Cylindrocarpon obtusisporum</i>	19	3	0	0	17	0
<i>Cylindrocarpon olidum</i>	0	0	1	0	1	0
<i>Cylindrocarpon</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Cylindrocarpon theobromicola</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Eladia saccula</i>	0	4	0	0	0	2
<i>Eladia striatispora</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Emericella nidulans</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Eupenicillium euglaucum</i>	0	5	0	0	0	0
<i>Eupenicillium javanicum</i>	2	0	0	0	1	0
<i>Eupenicillium ludwigii</i>	0	0	2	1	0	0
<i>Eupenicillium</i> sp. 1	0	1	0	0	0	0
<i>Eupenicillium</i> sp. 2	15	6	0	0	0	0
<i>Eurotium amstelodami</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Eurotium chevalieri</i>	2	0	0	0	2	0
<i>Fusarium aquaeductuum</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Fusarium chlamydosporum</i>	30	10	9	8	5	0
<i>Fusarium lateritium</i>	1	0	1	1	0	5
<i>Fusarium merismoides</i>	1	1	1	0	0	1
<i>Fusarium moniliforme</i>	0	0	16	1	0	0
<i>Fusarium moniliforme</i> f. <i>subglutinans</i>	0	0	18	21	1	0
<i>Fusarium nivale</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Fusarium oxysporum</i>	2	11	0	6	0	0
<i>Fusarium poae</i>	27	0	1	1	12	0
<i>Fusarium tricinctum</i>	6	28	0	0	4	0
<i>Fusarium redolens</i>	0	0	0	0	5	0
<i>Fusarium solani</i>	0	6	4	0	1	2
<i>Fusarium stilboides</i>	2	0	0	0	0	0
<i>Fusarium ventricosum</i>	3	8	4	0	1	3
<i>Geniculosporium serpens</i>	0	0	0	1	2	0
<i>Geomyces asperulatus</i>	2	0	0	2	0	1
<i>Geotrichum candidum</i>	2	1	1	4	2	2
<i>Gliocladium caespitosum</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Gliocladium roseum</i>	0	0	1	1	2	0
<i>Gliocladium solani</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Gliocadium</i> sp. 1	0	0	0	0	9	0
<i>Gliocadium</i> sp. 2	0	0	1	1	0	0
<i>Gliocadium</i> sp. 3	0	0	0	0	0	1
<i>Gliocadium</i> sp. 4	0	0	0	1	0	0
<i>Gliocadium</i> sp. 5	0	0	1	0	0	2
<i>Gliocadium</i> sp. 6	0	0	1	0	0	0
<i>Gliocadium</i> sp. 7	0	1	0	0	1	0
<i>Gliocephalotrichum bulbilium</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Gonytrichum macrocladum</i>	0	1	2	0	1	1
<i>Graphium</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Haematonectria haematococca</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Harposporium lilliputanum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Hipocrea anam.</i> <i>Nectria</i>	1	0	0	0	1	1
<i>Humicola fuscoatra</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Humicola grisea</i>	1	0	7	5	0	0
<i>Humicola repens</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Humicola</i> sp. 1	8	0	2	0	0	0

APÉNDICE 14.1. LISTA DE ESPECIES DE HONGOS SAPROBIOS Y SU ABUNDANCIA (NÚMERO DE COLONIAS), ENCONTRADAS EN EL SUELO DE LAS 5 FINCAS CAFETALERAS Y EN UN FRAGMENTO DE BOSQUE MESÓFILO. (CONTINUACIÓN)

ESPECIES	Monocultivo bajo sol SOL	Sombra especializada VSE	Policultivo diverso ONZ	Policultivo sencillo ORD	Cafetal rústico MIR	Bosque mesófilo CAÑ
<i>Humicola</i> sp. 2	0	2	0	0	0	0
<i>Humicola</i> sp. 3	1	0	0	0	0	0
<i>Humicola</i> sp. 4	1	1	0	0	1	0
<i>Humicola</i> sp. 5	0	0	0	1	0	0
<i>Humicola</i> sp. 6	0	1	0	0	0	1
<i>Humicola</i> sp. 7	0	0	0	0	1	0
<i>Humicola</i> sp. 8	1	1	1	0	0	0
<i>Humicola</i> sp. 9	0	1	0	1	0	0
<i>Humicola</i> sp. 10	0	0	0	0	0	2
<i>Humicola</i> sp. 11	0	5	0	0	0	0
<i>Humicola</i> sp. 12	0	0	1	0	0	0
<i>Humicola</i> sp. 13	0	0	0	2	0	0
<i>Humicola</i> sp. 14	0	0	0	0	0	1
<i>Hypoxyton serpens</i>	0	0	2	0	0	1
<i>Leptodontium elatius</i> var. <i>elatius</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Leptographium lundbergii</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Mariannaea elegans</i>	0	0	2	2	3	1
<i>Melanospora zamiae</i>	0	2	0	1	1	0
<i>Merimbla</i> sp. 1	0	0	2	0	0	0
<i>Merimbla</i> sp. 2	0	0	0	0	0	2
<i>Merimbla</i> sp. 3	0	0	0	0	0	1
<i>Merimbla</i> sp. 4	0	0	1	0	0	1
<i>Merimbla</i> sp. 5	0	0	0	0	0	1
<i>Merimbla</i> sp. 6	0	0	0	1	0	0
<i>Metarhizium anisopliae</i>	3	2	6	3	1	0
<i>Monocillium indicum</i>	0	1	1	1	0	0
<i>Mucor hachijyoensis</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Mucor racemosus</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Myceliophthora anam. Artroderma tiberculatum</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Myceliophthora anam. Corynasus novagulensii</i>	0	2	1	0	0	0
<i>Myrothecium roridum</i>	1	2	1	1	1	0
<i>Myrothecium</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Nectria coccinea</i>	11	1	0	0	0	0
<i>Nectria fuckeliana</i>	0	0	0	1	2	0
<i>Nectria radicola</i>	0	1	0	0	1	0
<i>Nectria</i> sp. 1	2	2	0	0	0	4
<i>Nectria</i> sp. 2	0	0	2	0	0	0
<i>Neomelanconium</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Neosartorya fischeri</i>	0	3	0	0	0	2
<i>Oidiodendron rhodogenum</i>	0	0	0	0	2	0
<i>Olpitrichum sphaerosporum</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Paecilomyces carneus</i>	0	1	4	0	2	11
<i>Paecilomyces clavisporus</i>	0	1	0	0	1	2
<i>Paecilomyces inflatus</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	8	9	12	8	13	0
<i>Paecilomyces marquandii</i>	0	0	4	2	5	1
<i>Paecilomyces puntonii</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Paecilomyces variabilis</i>	0	0	0	0	0	3
<i>Paecilomyces variotii</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Penicillium brevicompactum</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Penicillium canescens</i>	0	0	0	0	0	2
<i>Penicillium chrysogenum</i>	0	1	0	0	1	0
<i>Penicillium citreonigrum</i>	0	0	0	0	2	0

APÉNDICE 14.1. LISTA DE ESPECIES DE HONGOS SAPROBIOS Y SU ABUNDANCIA (NÚMERO DE COLONIAS), ENCONTRADAS EN EL SUELO DE LAS 5 FINCAS CAFETALERAS Y EN UN FRAGMENTO DE BOSQUE MESÓFILO. (CONTINUACIÓN)

ESPECIES	Monocultivo bajo sol SOL	Sombra especializada VSE	Policultivo diverso ONZ	Policultivo sencillo ORD	Cafetal rústico MIR	Bosque mesófilo CAÑ
<i>Penicillium citrinum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Penicillium corylophilum</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Penicillium decumbens</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Penicillium dierckxii</i>	4	0	0	1	0	0
<i>Penicillium echinulatum</i> var. <i>echinulatum</i>	0	0	0	2	0	0
<i>Penicillium glandicola</i>	0	1	2	0	0	1
<i>Penicillium implicatum</i>	3	1	1	3	2	1
<i>Penicillium islandicum</i>	2	1	2	0	1	0
<i>Penicillium lividum</i>	2	1	3	2	0	5
<i>Penicillium melinii</i>	0	0	1	2	2	0
<i>Penicillium minioluteum</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Penicillium olsonii</i>	0	0	0	0	2	2
<i>Penicillium purpurogenum</i>	2	0	0	0	0	2
<i>Penicillium raistrickii</i>	1	0	0	0	1	0
<i>Penicillium rugulosum</i>	0	0	1	0	0	1
<i>Penicillium simplicissimum</i>	0	3	0	1	0	0
<i>Penicillium thomii</i>	1	1	3	3	0	0
<i>Penicillium variabile</i>	0	1	0	0	0	2
<i>Penicillium verruculosum</i>	0	0	0	1	1	3
<i>Penicillium vulpinum</i>	0	0	1	0	0	1
<i>Periconia igniaria</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Pestalotiopsis maculans</i>	0	1	1	6	4	6
<i>Pestalotiopsis uvicola</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Phialocephala phycomyces</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Phialomyces</i> sp. 1	4	0	6	1	0	0
<i>Phialomyces</i> sp. 2	1	0	0	0	0	0
<i>Phialophora bubakii</i>	0	0	0	0	0	6
<i>Phialophora cyclaminis</i>	0	1	1	3	2	0
<i>Phialophora richardsiae</i>	2	0	2	2	1	4
<i>Phoma eupyrena</i>	0	0	1	0	2	1
<i>Phoma fimeti</i>	0	2	0	0	0	0
<i>Phoma</i> sp. 1	0	5	0	0	0	0
<i>Phoma</i> sp. 2	0	0	0	0	1	0
<i>Phoma</i> sp. 3	0	0	1	0	0	0
<i>Phoma</i> sp. 4	0	0	0	0	2	0
<i>Phoma</i> sp. 5	0	0	3	1	0	0
<i>Phoma</i> sp. 6	0	0	0	0	0	1
<i>Phoma</i> sp. 7	0	0	0	0	0	1
<i>Phoma</i> sp. 8	0	0	0	1	0	0
<i>Phoma</i> sp. 9	0	1	0	1	0	0
<i>Phomopsis</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Pleurophragmium</i> sp.	0	2	0	0	0	0
<i>Pochonia chlamydosporia</i> var. <i>catenulata</i>	3	0	1	2	1	0
<i>Pochonia suchlasporia</i>	1	1	1	4	3	0
<i>Pseudeurotium zonatum</i>	2	0	0	0	0	0
<i>Pseudeurotium</i> sp.	3	23	0	0	0	0
<i>Pseudobotrytis bisbyi</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Pseudobotrytis terrestris</i>	0	3	4	1	7	3
<i>Pyrenochaeta unguis-hominis</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Ramichloridium schulzeri</i>	3	11	4	8	3	3
<i>Rhinocladiella</i> edo de <i>Dictyotrichiella mansonii</i>	0	0	0	0	0	2
<i>Sagenomella diversispora</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Scedosporium prolificans</i>	0	1	0	0	0	0

APÉNDICE 14.1. LISTA DE ESPECIES DE HONGOS SAPROBIOS Y SU ABUNDANCIA (NÚMERO DE COLONIAS), ENCONTRADAS EN EL SUELO DE LAS 5 FINCAS CAFETALERAS Y EN UN FRAGMENTO DE BOSQUE MESÓFILO. (CONTINUACIÓN)

ESPECIES	Monocultivo bajo sol SOL	Sombra especializada VSE	Policultivo diverso ONZ	Policultivo sencillo ORD	Cafetal rústico MIR	Bosque mesófilo CAÑ
<i>Scolecobasidium constrictum</i>	0	0	0	0	0	2
<i>Scolecobasidium humicola</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Scopulariopsis acremonium</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	0	0	1	0	0	2
<i>Sesquicillium candelabrum</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Sporothrix schenckii</i> var. <i>schonckii</i>	1	0	0	0	1	1
<i>Sportrichum</i> sp.	0	0	1	1	1	0
<i>Stachybotrys albipes</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Stachybotrys parvispora</i>	1	2	0	3	6	4
<i>Taenolella</i> sp.	2	2	0	0	2	0
<i>Talaromyces flavus</i>	16	4	0	0	0	0
<i>Talaromyces flavus</i> var. <i>flavus</i>	14	4	13	4	5	0
<i>Talaromyces intermedius</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Talaromyces rotundus</i>	0	0	0	0	2	0
<i>Talaromyces stipitatus</i>	7	4	0	0	0	0
<i>Talaromyces striatus</i>	0	0	2	0	0	0
<i>Talaromyces trachyspermus</i>	3	1	0	3	0	2
<i>Talaromyces udagawae</i>	0	0	0	0	2	0
<i>Talaromyces wortmannii</i>	5	0	0	2	0	0
<i>Torula herbarum</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Trichoderma aggressivum</i>	0	1	2	8	0	5
<i>Trichoderma atroviride</i>	2	0	6	2	1	1
<i>Trichoderma citrinoviride</i>	0	5	6	0	8	0
<i>Trichoderma cremeum</i>	6	20	24	0	38	9
<i>Trichoderma harzianum</i>	0	0	3	1	0	3
<i>Trichoderma koningii</i>	3	10	1	9	42	1
<i>Trichoderma lacteum</i>	2	0	0	0	0	0
<i>Trichoderma longipilis</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Trichoderma oblongisporum</i>	10	9	3	4	0	0
<i>Trichoderma parceramosum</i>	0	0	0	2	0	0
<i>Trichoderma pseudokoningii</i>	0	6	6	0	2	0
<i>Trichoderma strictipilis</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Trichoderma viride</i>	1	1	15	2	1	0
<i>Trichosporon sporotrichoides</i>	1	0	0	0	0	2
<i>Umbelopsis ramanniana</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Umbelopsis versiformis</i>	0	0	0	0	0	8
<i>Umbelopsis vinacea</i>	0	0	0	4	0	0
<i>Verticillium fungicola</i>	1	0	1	3	1	1
<i>Virgaria nigra</i>	0	1	0	1	6	1
Ascomycete	0	1	1	0	0	0
Ascomycete	0	4	0	0	0	0
Ascomycete	1	0	0	0	0	0
Ascomycete	0	1	0	0	0	0
Ascomycete	0	2	0	0	0	0
Ascomycete	2	0	0	0	0	0
Ascomycete	0	0	0	0	0	1
Basidimoycete	2	0	0	1	0	1
Cepa estéril 1	0	1	0	0	0	0
Cepa estéril 2	3	1	4	0	0	0
Cepa estéril 3	0	1	0	0	0	0
Cepa estéril 4	0	0	1	0	0	0
Cepa estéril 5	0	1	0	0	0	0
Cepa estéril 6	1	0	0	0	0	0

APÉNDICE 14.1. LISTA DE ESPECIES DE HONGOS SAPROBIOS Y SU ABUNDANCIA (NÚMERO DE COLONIAS), ENCONTRADAS EN EL SUELO DE LAS 5 FINCAS CAFETALERAS Y EN UN FRAGMENTO DE BOSQUE MESÓFILO. (CONTINUACIÓN)

ESPECIES	Monocultivo bajo sol SOL	Sombra especializada VSE	Policultivo diverso ONZ	Policultivo sencillo ORD	Cafetal rústico MIR	Bosque mesófilo CAÑ
Cepa estéril 7	1	0	0	0	0	0
Cepa estéril 8	0	1	0	0	0	0
Cepa estéril 9	0	0	0	2	2	0
Cepa estéril 10	0	1	0	0	0	0
Cepa estéril 11	0	0	0	0	0	1
Cepa estéril 12	2	3	0	0	0	1
Cepa estéril 13	0	0	0	0	0	7
Cepa estéril 14	0	0	0	0	1	0
Cepa estéril 15	0	1	0	0	0	0
Cepa estéril 16	0	0	0	1	1	0
Cepa estéril 17	1	0	1	0	0	0
Cepa estéril 18	0	1	0	0	0	1
Cepa estéril 19	0	0	0	0	0	2
Cepa estéril 20	0	0	0	0	1	0
Cepa estéril 21	0	0	1	0	0	0
Cepa estéril 22	1	0	0	0	0	0
Cepa estéril 23	0	0	0	0	1	0
Cepa estéril 24	0	0	1	0	0	0
Cepa estéril 25	1	0	1	0	0	3
Cepa estéril 26	1	0	0	1	0	0
Cepa estéril 27	0	0	0	0	1	1
Cepa estéril 28	0	1	0	0	0	0
Cepa estéril 29	0	0	0	0	0	1
Cepa estéril 30	0	0	0	1	0	0
Cepa estéril 31	0	0	0	0	3	0
Cepa estéril 32	0	0	0	1	0	0
Cepa estéril 33	0	1	0	0	0	0
Cepa estéril 34	0	1	0	0	0	8
Cepa estéril 35	1	0	0	0	0	0
Cepa estéril 36	0	1	0	0	0	0
Cepa estéril 37	0	0	0	0	2	0
Cepa estéril 38	0	0	0	0	1	3
Cepa estéril 39	0	0	0	1	0	0
Cepa estéril 40	0	0	1	0	0	0
Cepa estéril 41	1	0	0	0	0	0
Cepa estéril 42	0	0	0	0	0	1
Cepa estéril 43	0	0	0	0	0	1
Cepa estéril 44	0	0	0	0	0	1
Cepa estéril 45	0	0	1	0	0	0
Cepa estéril 46	0	0	0	0	0	1
Cepa estéril 47	0	1	0	0	0	1
Cepa estéril 48	0	1	0	0	0	0
Cepa estéril 49	0	0	0	0	1	0
Cepa estéril 50	0	1	0	0	0	0
Cepa estéril 51	0	0	1	0	0	0
Cepa estéril 52	0	0	0	0	1	0
Cepa estéril 53	10	1	0	0	0	1
Cepa estéril 54	1	0	1	0	0	0
Cepa estéril 55	3	0	0	0	0	0
Cepa estéril 56	0	0	0	0	1	1
Cepa estéril 57	0	0	0	0	1	0
Cepa estéril 58	0	0	0	0	1	0
Cepa estéril 59	0	0	3	0	1	0

APÉNDICE 14.1. LISTA DE ESPECIES DE HONGOS SAPROBIOS Y SU ABUNDANCIA (NÚMERO DE COLONIAS), ENCONTRADAS EN EL SUELO DE LAS 5 FINCAS CAFETALERAS Y EN UN FRAGMENTO DE BOSQUE MESÓFILO. (CONTINUACIÓN)

ESPECIES	Monocultivo bajo sol SOL	Sombra especializada VSE	Policultivo diverso ONZ	Policultivo sencillo ORD	Cafetal rústico MIR	Bosque mesófilo CAÑ
Cepa estéril 60	0	0	2	0	0	0
Cepa estéril 61	0	0	0	0	1	0
Cepa estéril 62	0	0	1	0	0	0
Cepa estéril 63	0	0	0	2	0	0
Cepa estéril 64	0	0	1	1	0	0
Cepa estéril 65	0	0	0	0	0	1
Cepa estéril 66	0	0	0	1	0	1
Cepa estéril 67	0	0	0	0	0	1
Cepa estéril 68	0	1	0	0	1	0
Cepa estéril 69	0	0	0	0	1	0
Cepa estéril 70	0	0	0	0	0	1
Cepa estéril 71	0	0	0	0	1	0
Cepa estéril 72	2	0	0	0	0	0
Cepa estéril 73	0	0	0	0	2	0
Cepa estéril 74	0	0	3	2	0	0
Cepa estéril 75	0	1	1	0	2	1
Cepa estéril 76	0	0	1	1	0	0
Cepa estéril 77	0	0	0	1	0	0
Cepa estéril 78	0	0	0	1	0	0
Cepa estéril 79	0	0	0	1	0	0
Cepa estéril 80	0	1	0	1	0	0
Cepa estéril 81	0	1	1	0	1	0
Cepa estéril 82	0	0	1	0	0	0
Cepa estéril 83	0	0	0	1	1	1
Cepa estéril 84	0	0	2	0	0	0
Cepa estéril 85	0	1	1	0	0	1
Cepa estéril 86	1	0	1	0	0	2
Cepa estéril 87	0	1	0	0	1	0
Cepa estéril 88	1	0	0	0	0	1
Cepa estéril 89	0	0	0	1	0	1
Cepa estéril 90	0	0	0	0	0	1
Cepa estéril 91	0	0	0	0	0	1
Cepa estéril 92	0	0	0	1	0	0
Cepa estéril 93	1	0	0	0	0	0
Cepa estéril 94	0	0	0	1	0	0
Cepa estéril 95	0	0	1	0	0	0
Cepa estéril 96	0	0	0	0	2	0
Cepa estéril 97	0	0	0	0	0	1
Cepa estéril 98	0	0	0	0	0	1
Cepa estéril 99	0	0	0	0	3	0
Cepa estéril 100	0	2	0	1	0	0
Cepa estéril 101	0	0	0	0	1	0
Cepa estéril 102	1	0	0	0	0	0
Cepa estéril 103	0	1	0	0	0	0
Cepa estéril 104	0	0	0	0	0	2
Cepa estéril 105	0	0	0	1	0	0
Cepa estéril 106	0	0	1	0	0	0
Cepa estéril 107	1	0	6	0	0	0
Cepa estéril 108	0	0	0	1	0	0
Cepa estéril 109	0	1	1	2	1	0
Cepa estéril 110	0	0	0	0	0	1
Cepa estéril 111	0	0	0	2	1	2
Cepa estéril 112	0	0	0	1	0	0

APÉNDICE 14.1. LISTA DE ESPECIES DE HONGOS SAPROBIOS Y SU ABUNDANCIA (NÚMERO DE COLONIAS), ENCONTRADAS EN EL SUELO DE LAS 5 FINCAS CAFETALERAS Y EN UN FRAGMENTO DE BOSQUE MESÓFILO. (CONTINUACIÓN)

ESPECIES	Monocultivo bajo sol SOL	Sombra especializada VSE	Policultivo diverso ONZ	Policultivo sencillo ORD	Cafetal rústico MIR	Bosque mesófilo CAÑ
Cepa estéril 113	1	0	0	2	0	0
Cepa estéril 114	1	0	1	0	0	0
Cepa estéril 115	1	0	1	0	1	1
Cepa estéril 116	0	0	0	0	1	0
Cepa estéril 117	1	0	0	0	0	0
Cepa estéril 118	0	0	1	0	0	0
Cepa estéril 119	3	0	0	0	0	0
Cepa estéril 120	0	0	0	0	0	1
Cepa estéril 121	2	0	0	0	0	0
Cepa estéril 122	0	0	0	1	0	0
Cepa estéril 123	0	0	1	0	0	0
Cepa estéril 124	0	0	1	0	0	0
Cepa estéril 125	1	0	0	0	0	0
Cepa estéril 126	0	0	0	0	0	2
Cepa estéril 127	0	0	1	1	0	0
Cepa estéril 128	0	0	4	0	0	0
Cepa estéril 129	0	0	1	0	0	0
Cepa estéril 130	0	0	0	1	0	0
Cepa estéril 131	0	0	0	0	0	9
Cepa estéril 132	0	0	0	0	0	11
Cepa estéril 133	0	0	0	0	0	1
Cepa estéril 134	0	0	0	0	0	3
Cepa estéril 135	0	0	0	0	0	1
Cepa estéril 136	0	0	0	0	0	2
Cepa estéril 137	0	0	0	0	0	1
Peronosporal	0	1	0	0	0	0
Sphaeropsidal 1	2	2	0	0	0	0
Sphaeropsidal 2	1	0	0	0	0	0
Sphaeropsidal 3	1	0	0	0	1	0
Sphaeropsidal 4	0	0	0	0	1	0
Xilarial 1	0	0	0	0	0	1
Xilarial 2	0	0	1	0	1	2
Xilarial 3	1	0	2	10	1	0
Xilarial 4	1	0	0	0	0	0
Xilarial 5	0	0	0	3	0	0
Xilarial 6	0	0	0	1	0	0
Xilarial 7	0	1	0	0	0	0
Xilarial 8	0	1	0	3	0	0
Xilarial 9	3	0	0	0	0	0
Xilarial 10	0	0	0	2	0	0
Xilarial 11	0	0	0	0	0	1
Xilarial 12	0	0	0	0	0	1
Xilarial 13	1	0	0	0	0	0
Xilarial 14	0	0	0	0	0	1
Xilarial 15	0	0	1	0	0	1
Xilarial 16	0	0	0	0	0	1
Xilarial 17	0	0	0	1	0	0
Xilarial 18	0	0	0	0	0	1
Abundancia	358	341	327	267	332	274
Riqueza	121	130	121	119	125	130
Diversidad	4.1	4.2	4.2	4.3	4.0	4.5

APÉNDICE 14.2. LISTA DE ESPECIES DE HONGOS ENDOMICORRIZÓGENOS Y SU ABUNDANCIA (NÚMERO DE ESPORAS) ENCONTRADAS EN EL SUELO DE LAS CINCO FINCAS CAFETALERAS Y EN UN FRAGMENTO DE BOSQUE MESÓFILO.

ESPECIES	Monocultivo bajo sol SOL	Sombra especializada VSE	Policultivo diverso ONZ	Policultivo sencillo ORD	Cafetal rústico MIR	Bosque mesófilo CAÑ
<i>Acaulospora bireticulata</i>	10	8	0	0	17	0
<i>Acaulospora delicata</i>	124	92	49	6	56	272
<i>Acaulospora dilatata</i>	213	171	906	610	281	1074
<i>Acaulospora excavata</i>	9	17	29	2	22	16
<i>Acaulospora laevis</i>	0	0	98	24	8	0
<i>Acaulospora mellea</i>	20	244	203	239	71	0
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	134	95	66	8	84	486
<i>Acaulospora</i> sp. 1	20	70	196	51	53	567
<i>Acaulospora</i> sp. 2	6	6	79	37	32	147
<i>Acaulospora</i> sp. 3	0	0	0	0	6	0
<i>Acaulospora</i> sp. 4	17	0	0	0	0	0
<i>Acaulospora spinosa</i>	15	5	4	6	0	6
<i>Entrophospora infrequens</i>	0	5	0	0	12	0
<i>Gigaspora</i> sp.	0	4	4	0	5	8
<i>Glomus mosseae</i>	0	19	0	0	0	0
<i>Glomus claroideum</i>	72	67	96	45	20	0
<i>Glomus clarum</i>	1508	1825	1389	750	471	968
<i>Glomus constrictum</i>	12	3	0	0	16	0
<i>Glomus coronatum</i>	12	0	0	0	0	0
<i>Glomus etunicatum</i>	19	105	149	44	26	0
<i>Glomus fasciculatum</i>	6	29	0	9	120	1264
<i>Glomus gerdemannii</i>	0	26	0	3	13	0
<i>Glomus glomerulatum</i>	0	0	6	5	2	0
<i>Glomus intraradices</i>	529	7303	0	5	61	4
<i>Glomus microaggregatum</i>	0	6	22	21	2	0
<i>Glomus rubiforme</i>	135	113	0	0	55	175
<i>Glomus</i> sp. 1	3	3	12	3	0	0
<i>Glomus</i> sp. 2	0	0	23	12	0	0
<i>Glomus</i> sp. 3	693	1178	987	1048	4232	2411
<i>Glomus</i> sp. 4	0	0	0	13	0	0
<i>Glomus</i> sp. 5	0	0	0	0	0	4
<i>Scutellospora biornata</i>	0	0	13	0	0	15
<i>Scutellospora dipapillosa</i>	0	0	0	0	12	6
Abundancia	3555	11393	4332	2939	5678	7423
Riqueza	20	23	19	21	24	16
Diversidad	1.8	1.2	1.9	1.7	1.1	1.9

Calidad y ambiente físico-químico de los suelos

DANIEL GEISSERT Y ALEJANDRA IBÁÑEZ

Resumen

En la región centro del estado de Veracruz fue evaluada la calidad del suelo tanto en bosque mesófilo de montaña (BMM) como en agroecosistemas cafetaleros con diferentes sistemas de manejo: rústico, policultivo diverso y monocultivo a pleno sol. Respecto a los de bosque, los suelos de cafetales manifestaron una disminución de la acidez del suelo, de los contenidos de materia orgánica y nitrógeno, de la porosidad del suelo y de la conductividad hidráulica. Asimismo, se produjo un aumento del fósforo y del potasio, y de la capacidad de retención del agua aprovechable. En los cafetales, el efecto de los sistemas de manejo no fue significativo sobre estas propiedades. La calidad química del suelo relativa al fósforo y al potasio fue menor en bosque que en cafetales, en oposición al nitrógeno; además, todos los suelos resultaron ser retenedores de carbono. La calidad física fue alta en todos los sitios, relacionada con la porosidad, la textura y la profundidad, por lo que el suelo es un buen sustrato para las plantas. En función de lo anterior, los suelos cafetaleros ofrecen servicios ambientales edáficos similares a los del BMM.

Abstract

In central Veracruz, Mexico, soil quality was assessed in tropical montane cloud forest (TMCF) and in coffee agroecosystems spanning a range of different management systems: rustic, diverse polyculture, and sun coffee farms. Soils of coffee plantations show a decrease of soil acidity, organic matter content, nitrogen, soil porosity, and hydraulic conductivity when compared to forest soils. However, there was also an increase of phosphorus and potassium, as well as a higher water retention capacity. In contrast, the particular management system employed by coffee growers did not appear to have a significant effect on any of these soil properties. The chemical quality of soils evaluated by phosphorus and potassium contrasted with nitrogen availability, and was lower in coffee farms than in TMCF; all the study sites exhibited substantial supply of soil carbon. The physical quality of soils as a substrate for plants in terms of porosity, texture, and depth, was found to be high in all study sites. In conclusion, many of the important soil ecosystem services supplied by TMCF appear to be conserved by the coffee farms in central Veracruz.

INTRODUCCIÓN

Un agroecosistema sustentable es aquel capaz de mantener su productividad aún en condiciones de estrés, de impulsar la calidad del medio ambiente, proveer las fibras y alimentos necesarios para el ser humano, ser económicamente viable y mejorar la calidad de vida de los agricultores y de la sociedad (Conway 1994, FAO 1994). Al ser el suelo un componente central del agroecosistema, es necesario definir su calidad para evaluar la sustentabilidad. Dicha calidad incluye tres aspectos importantes: (a) la productividad del suelo, o sea, la habilidad del mismo para promover la productividad del ecosistema o agroecosistema, sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas; (b) la salud, que se refiere a la capacidad del suelo para producir alimentos sanos y nutritivos para los seres humanos y otros organismos; y (c) la calidad medioambiental, entendida como la capacidad del suelo para atenuar los contaminantes ambientales, los patógenos, y cualquier posible daño hacia el exterior del sistema, ofreciendo servicios ambientales (Parr *et al.* 1992, Doran y Parkin 1994, Astier-Calderón *et al.* 2002).

Según Daily (1997), los servicios ambientales corresponden al conjunto de condiciones y procesos por medio de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que los conforman, sostienen y satisfacen la vida humana. Dichos servicios mantienen la biodiversidad y la producción de bienes ecológicos, tales como alimentos, forraje, madera, combustibles de biomasa, fibras naturales y productos farmacéuticos e industriales. Los suelos por su parte proveen seis principales servicios: (a) amortiguamiento y regulación del ciclo hidrológico; (b) sustrato físico para las plantas; (c) retención y provisión de nutrientes para las plantas; (d) recepción de desechos orgánicos e inorgánicos; (e) renovación de la fertilidad del suelo; y (f) regulación de los ciclos biogeoquímicos mayores (Daily *et al.* 1997).

Los suelos que se desarrollan bajo una vegetación madura presentan una alta calidad ambiental, funcionan como sistemas en equilibrio, activos y estables, y brindan servicios ambientales (Doran y Parkin 1996, Fisher y Binkley 2000). Por el contrario, los suelos de uso agrícola en comparación con los suelos similares bajo vegetación natural, presentan generalmente algún proceso de degradación y se caracterizan por contener menos materia orgánica, nitrógeno total y bases intercambiables (potasio, calcio, magnesio y sodio), así como una capacidad de intercambio catiónico más baja

(Geissert *et al.* 2000, Kosmas *et al.* 2000). Asimismo, cambia la estabilidad de la estructura y se produce una remoción de suelo como resultado de la erosión provocada por la labranza, la escorrentía superficial y la deflación eólica (Schumacher *et al.* 1999, Meza y Geissert 2003, 2006). A menudo, los suelos agrícolas ofrecen un servicio ambiental de baja calidad y requieren de esfuerzos técnicos y económicos para conservar o restaurar sus funciones ambientales. Los sistemas agroforestales como los de café bajo sombra presentan condiciones intermedias en relación con los anteriores: más perturbados que los bosques, pero menos que los sistemas de cultivos anuales, con su consecuente calidad del suelo y servicios ambientales.

En este contexto, los objetivos de este trabajo son determinar la disponibilidad de nutrientes y de agua, y evaluar la calidad del suelo en fincas de café y en bosque mesófilo de montaña de la región centro del estado de Veracruz, a fin de determinar en qué medida los agroecosistemas cafetaleros con diferente grado de manejo conservan la calidad edáfica del bosque y, por lo tanto, son capaces de brindar servicios ambientales equivalentes.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se estudiaron suelos tanto en bosque mesófilo de montaña como en fincas cafetaleras con diferentes sistemas de manejo; dos sitios se localizan en bosque (CAÑ, MAS) y cinco en fincas: rústico medio con manejo bajo alternativo (MIR; control manual de arvenses y poda ocasional, café orgánico), rústico bajo con manejo alto híbrido (ONZ; es un policultivo diverso con control alternativo de maleza y plagas, poda selectiva, fertilización química y orgánica), rústico medio con manejo bajo convencional (ORD; es un policultivo sencillo con fertilización y control de maleza con herbicidas, poda selectiva, sin control fitosanitario de plagas), monocultivo bajo con manejo medio híbrido (VCS; control alternativo y convencional de maleza, fertilización química y orgánica, sin control de plagas), y monocultivo a pleno sol con manejo medio híbrido (SOL; solo control químico y alternativo de malezas) (Capítulo 2), distribuidos en la región central del estado de Veracruz (Cuadro 15.1). En cada uno de los siete sitios se eligieron aleatoriamente cinco puntos, donde se realizaron muestreos de suelo a dos profundidades: de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm (horizontes superficial

Cuadro 15.1. Características ambientales de los sitios estudiados.

SITIO	SOL	VCS	ONZ	ORD	MIR	MAS	CAÑ
Sistema	Sol	Monocultivo bajo	Rústico bajo	Rústico medio	Rústico medio	Bosque	Bosque
Latitud N	19°22'53"	19°12'26"	19°25'56"	19°27'59"	19°12'57"	19°27'38.4"	19°11'26.5"
Longitud W	96°59'17"	96°53'18"	96°57'50"	96°56'03"	96°53'07"	96°59'46.1"	96°59'17.6"
Altitud (msnm)	1 200	1 080	1 140	1 220	1 070	1 360	1 380
Municipio	Teocelo	Tenampa	Coatepec	Coatepec	Totutla	Coatepec	Huatusco
Clima	(A)C(fm)	(A)C(m)	(A)C(fm)	(A)C(fm)	(A)C(m)	(A)C(fm)	(A)C(fm)
Precipitación anual (mm)	2 000	1 900	2 000	1 800	1 900	2 000	2 100
Temperatura media anual (°C)	20.9	22.3	21.6	20.7	22.4	19.1	19.1
Relieve	Lomerío de pendiente suave a moderada	Lomerío de pendiente moderada a fuerte	Lomerío de pendiente suave a moderada	Planicie de pendiente suave	Lomerío de pendiente moderada a fuerte	Ladera de barranca de pendiente fuerte	Ladera de barranca de pendiente fuerte
Litología	Cenizas intemperizadas espesas	Cenizas sobre brecha volcánica intemperizada	Cenizas sobre brecha volcánica intemperizada y lava	Cenizas sobre brecha volcánica intemperizada y lava	Cenizas sobre brecha volcánica intemperizada	Cenizas sobre brecha volcánica intemperizada	Cenizas sobre brecha intemperizada

y subsuperficial, respectivamente). Además, para identificar los diferentes tipos de suelo, se realizaron perfiles completos en cinco de los siete sitios, se tomaron muestras por cada uno de los horizontes presentes y se describió su morfología.

Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Análisis Químicos de Suelo, Agua y Planta (LAQSAP) del Instituto de Ecología, A. C. (Estado de Veracruz) y en el Laboratorio de Física de Suelos (LFS) del Colegio de Postgraduados de Montecillo (Estado de México).

En el LAQSAP, las muestras analizadas se secaron al aire y se tamizaron a 2 mm para determinar: potasio (K) y sodio (Na) intercambiables, con fotómetro de llama; calcio (Ca) y magnesio (Mg) intercambiables, con espectrofotómetro de absorción atómica; nitrógeno total (N), mediante micro-Kjeldahl; fósforo disponible (P), con Bray 1; capacidad de intercambio catiónico (CIC), con acetato de amonio 1N, pH 7.0; carbono orgánico (CO), mediante Walkley y Black modificado; fijación de fósforo, con Blakemore; pH en agua, mediante potenciometría; densidad aparente (Da), con

cilindro; densidad real (Dr), con picnómetro; y textura, mediante pipeta, con destrucción de materia orgánica y dispersión con hexametáfosfato de sodio. En el LFS se determinaron: la capacidad de campo (CC), mediante retención de agua a 33 kPa; el punto de marchitez permanente (PMP) a 1500 kPa, con olla y membranas de presión, sobre suelo secado al aire, sin tamizar; y la conductividad hidráulica (CH), en condiciones de saturación a carga constante sobre suelo tamizado.

También se calcularon: la saturación en bases intercambiables $[(Na + K + Ca + Mg)/CIC \times 100]$; la porosidad total $[100 - (Da/Dr \times 100)]$; y el agua aprovechable $[CC - PMP]$. Los análisis químicos se apegaron a la norma NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT 2002) y los resultados fueron promediados por sitio y por espesor total del suelo (0-20 cm); realizándose también la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y los análisis ANOVA con prueba de Tukey y de correlación (con $p \leq 0.05$). La calidad del suelo fue evaluada como alta, media y baja, a partir de la interpretación de los parámetros medidos, propuesta por la NOM 021. Por ejemplo, el suelo es de

alta calidad respecto al fósforo cuando el contenido de este nutriente es alto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tipos de suelo

Los suelos del área de estudio se desarrollan sobre cenizas volcánicas intemperizadas (de espesor variable de 1 a 3 m) que sobreyacen a brechas volcánicas y/o lavas. Los suelos son profundos con un espesor superior a 1.50 m. Su color varía de café oscuro a negro en superficie y de café amarillo a café anaranjado en el subsuelo. La textura bajo bosque es de franco-arenosa a arenosa y en cafetales, de franca a franco-limosa. La estructura de los horizontes superficiales es esponjosa, con agregados granulares y bloques subangulares livianos y porosos, condiciones favorables para el buen desarrollo de las raíces de las plantas y la circulación del agua. Asimismo, son ácidos y pobres en bases intercambiables (K, Ca, Mg), a pesar de contar con una capa superficial rica en materia orgánica. Los suelos fueron clasificados mediante SICS-ISRIC-FAO (1999); como Andosoles úmbricos (CAÑ, MAS) cuando varios horizontes de un mismo perfil presentaban propiedades ándicas (densidad aparente $\leq 0.90 \text{ Mg m}^{-3}$; fijación de fosfatos $\geq 70\%$; Al +1/2Fe extractables en oxalato ácido $\geq 2.0\%$), y como Acrisoles ándicos (ONZ, ORD, MIR, VCS, SOL) cuando dichas propiedades sólo estaban presentes en el horizonte superficial, además de contener en el subsuelo un horizonte de acumulación de arcilla, ausente en los Andosoles.

Ambos tipos de suelos se ordenan a lo largo de un gradiente altitudinal que va de los 1000 a los 1400 m, el cual induce uno climático, de forma que en la parte baja el clima de tipo (A)C(m) es más cálido y menos húmedo que el de tipo (A)C(fm) de la parte alta (Cuadro 15.1). Los cambios térmicos y pluviométricos resultantes, ocasionan modificaciones progresivas de los procesos de formación del suelo; así, los Andosoles, situados en la zona alta y en equilibrio con el bosque mesófilo de montaña (BMM), cambian gradualmente a Acrisoles a menor altitud, en la zona cafetalera. A pesar de que a lo largo de ambos gradientes ocurre una heterogeneidad edáfica, la capa superior del Acrisol sigue presentando propiedades edafogenéticas similares a las del Andosol, permitiendo en ella la comparación de las características edáficas entre sitios de bosque y de cafetal, y entre fincas.

Ambiente químico de los suelos

El ambiente químico se caracteriza por una fuerte acidez, con un pH de 4.5 a 5.2 en los suelos cafetaleros y de 4.0 a 4.5 en los forestales (Cuadro 15.2). La diferencia de acidez entre ambos fue significativa, no así la de los suelos de fincas con diferente intensidad de manejo. La acidez se relacionó con la baja saturación del complejo de adsorción en bases intercambiables ($r = 0.71$, $p \leq 0.05$), principalmente en calcio, pero también en potasio y magnesio. La saturación en bases varió de 33.9% a 40.4% en suelos cafetaleros, y de 21.4% a 26.4% en los forestales. Estos bajos valores indican que existe una pérdida de nutrientes, arrastrados por la gran cantidad de agua de lluvia que percola (lixiviación). La capacidad del suelo para disponer nutrientes para las plantas (medida por la CIC), es de baja a media, con valores de 13.6 a 23.1 cmol kg^{-1} en suelos de cafetal y de 14.7 a 18.4 cmol kg^{-1} en forestales. No existió diferencia significativa entre sitios de café y de bosque, ni entre fincas. En consecuencia, se puede concluir que el ambiente químico natural de los suelos estudiados no demuestra ser propicio para que exista una adecuada disponibilidad de diversos nutrientes para las plantas.

La disponibilidad de los macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio) fue variable entre sitios de bosque y de café, pero también entre horizontes superficiales y subsuperficiales. El nitrógeno total en los suelos bajo cafetal fue alto (2.39 a 2.92 g kg^{-1}); la diferencia entre horizontes superficiales (3.35 g kg^{-1}) y subsuperficiales (2.15 g kg^{-1}), no fue significativa. En los suelos de bosque, el contenido fue muy alto, variando entre 4.0 y 4.4 g kg^{-1} . La diferencia fue significativa entre el bosque MAS y las fincas, mientras que entre las fincas no se observaron diferencias significativas, indicando que la intensidad de manejo del sistema cafetalero prácticamente no afectó la disponibilidad del nitrógeno. Los elevados niveles de este elemento tienen como fuente la materia orgánica, con cuyo contenido se relacionó positivamente ($r = 0.97$, $p < 0.05$); en suelos cafetaleros, el CO varió de 23.1 a 30.1 g kg^{-1} , y en los de bosque, de 41.3 a 47.7 g kg^{-1} . Las diferencias de dichos valores entre ambos usos de suelo generalmente fueron significativas, no así entre fincas. Los valores de la relación carbono-nitrógeno (C/N = 8-12) indicaron que los residuos orgánicos se transforman en un humus estable, en el cual dominan los compuestos húmicos insolubles y poco móviles, y en donde el nitrógeno se mineraliza activamente.

Cuadro 15.2. Propiedades químicas de los suelos (media y desviación estándar, $n = 10$). CO = carbono orgánico; CIC = capacidad de intercambio catiónico; N = nitrógeno total; C/N = relación carbono-nitrógeno; P = fósforo disponible; K, Ca, Mg = potasio, calcio, magnesio intercambiables.

SITIO	SOL	VCS	ONZ	ORD	MIR	MAS	CAÑ
Sistema	Sol	Monocultivo bajo	Rústico bajo	Rústico medio	Rústico medio	Bosque	Bosque
Manejo	Medio	Medio	Alto	Bajo	Nulo	Nulo	Nulo
Fertilización	Nula	Química y orgánica	Química compleja y orgánica	Química	Orgánica	Nula	Nula
CO (g kg ⁻¹)	24.01 ± 8.89	25.98 ± 10.12	28.23 ± 12.34	23.06 ± 7.69	30.08 ± 11.33	47.67 ± 12.68	41.33 ± 19.35
pH	4.67 ± 0.32	5.1 ± 0.54	4.80 ± 0.78	4.47 ± 0.23	5.16 ± 0.66	3.97 ± 0.72	4.53 ± 0.38
CIC (cmol kg ⁻¹)	16.22 ± 3.42	20.86 ± 2.56	16.97 ± 3.20	13.64 ± 3.09	23.11 ± 1.93	14.71 ± 3.28	18.39 ± 5.14
Saturación bases (%)	38.6 ± 17.9	39.5 ± 21.8	40.4 ± 36.6	33.9 ± 15.7	36.4 ± 23.1	21.4 ± 39.7	26.4 ± 13.2
N (g kg ⁻¹)	2.92 ± 0.77	2.86 ± 0.91	2.72 ± 1.23	2.39 ± 0.76	2.86 ± 1.46	4.37 ± 1.07	4.05 ± 1.68
C/N	8.2 ± 1.8	9.0 ± 1.9	10.7 ± 2.1	9.7 ± 1.7	12.0 ± 5.4	10.9 ± 0.6	9.9 ± 1.4
P (mg kg ⁻¹)	0.68 ± 1.09	0.19 ± 0.30	9.07 ± 14.13	5.96 ± 7.64	1.75 ± 4.08	2.22 ± 0.82	0.10 ± 0.22
Fijación P (%)	79.7 ± 5.3	62.5 ± 5.5	53.8 ± 14.1	57.8 ± 5.1	62.1 ± 9.4	58.5 ± 22.3	90.6 ± 7.3
K (cmol kg ⁻¹)	1.26 ± 0.38	0.42 ± 0.41	0.56 ± 0.47	0.57 ± 0.34	0.61 ± 0.45	0.14 ± 0.14	0.35 ± 0.21
Ca (cmol kg ⁻¹)	3.35 ± 1.43	6.87 ± 4.51	5.98 ± 6.50	3.61 ± 2.41	5.79 ± 4.55	2.29 ± 4.53	2.82 ± 1.69
Mg (cmol kg ⁻¹)	1.22 ± 0.67	1.19 ± 0.51	0.77 ± 0.70	0.54 ± 0.26	2.20 ± 1.27	1.01 ± 2.01	1.30 ± 0.76

El fósforo disponible en los suelos cafetaleros fue bajo (0.19 a 9.07 mg kg⁻¹), observándose los mayores contenidos en los sitios ORD y ONZ. En los de bosque, los valores fueron aún más bajos, situándose entre 0.10 y 2.22 mg kg⁻¹. Las diferencias de contenido de P entre bosques y fincas fueron significativas, debido tanto al uso de fertilizantes, como a un menor grado de fijación en éstas. Sin embargo, el efecto aditivo de fosfatos en las fincas se manifestó más en el horizonte superficial (P = 6.55 mg kg⁻¹) que en el subsuelo (P = 0.50 mg kg⁻¹); dicha diferencia entre horizonte superficial y subsuelo no se presentó bajo bosque. La fijación de fósforo, responsable de la carencia general de P, osciló entre 53.8 y 79.7% en las fincas, y entre 58.5 y 90.6% en los bosques. En suelos de origen volcánico, esta carencia constituye generalmente la limitante para el crecimiento de plantas naturales y de cultivos. La mayor parte del fósforo contenido en las cenizas originales reacciona rápidamente con el aluminio y el hierro no-cristalinos, productos resultantes de la transformación bio- y geoquímica del material (intemperismo), formando compuestos insolubles fósforo-metálicos. Un proceso similar ocurre con el fósforo de los fertilizantes que puede ser rápidamente absorbido para formar un fosfato de aluminio no-cristalino, no disponible para las plantas (Shoji *et al.* 1993).

El contenido de potasio intercambiable alcanzó valores medios en los suelos cafetaleros (0.42 a 0.61 cmol kg⁻¹), salvo en SOL donde fue alto (1.26 cmol kg⁻¹). En los horizontes superficiales, los contenidos siempre fueron elevados (0.68 a 1.32 cmol kg⁻¹) y superiores a los del subsuelo (0.09 a 1.21 cmol kg⁻¹). La acumulación de K en el horizonte superficial del suelo de las fincas pudo resultar de la fertilización, ya que en los suelos forestales los valores fueron más bajos (0.19 a 0.33 cmol kg⁻¹). La diferencia cafetal/bosque fue significativa, lo que indica que debido al manejo del agroecosistema cafetalero, el contenido de potasio del suelo mejoró. La diferencia entre fincas no fue significativa, lo cual muestra que la intensidad de manejo del sistema cafetalero no influyó en la disponibilidad de este nutriente.

Ambiente físico de los suelos

Los suelos son generalmente livianos y esponjosos, caracterizándose por una densidad aparente situada entre 0.88 y 1.04 Mg m⁻³ en suelos cafetaleros, y entre 0.49 y 0.56 Mg m⁻³ en forestales (Cuadro 15.3). Los valores promedios siempre fueron más bajos en los horizontes superficiales (0.89 ± 0.11 Mg m⁻³) que en los subsuperficiales (0.99 ± 0.13 Mg m⁻³), rebasando

Cuadro 15.3. Propiedades físicas de los suelos (media y desviación estándar, $n = 6$). Da = densidad aparente; CC = capacidad de campo; PMP = punto de marchitez permanente; AA = agua aprovechable; CH = conductividad hidráulica.

SITIO Sistema	SOL Sol	VCS Monocultivo bajo	ONZ Rústico bajo	ORD Rústico medio	MIR Rústico medio	MAS Bosque	CAÑ Bosque
Manejo	Medio	Medio	Alto	Bajo	Nulo	Nulo	Nulo
Da (Mg m^{-3})	0.91 ± 0.05	0.88 ± 0.08	1.04 ± 0.20	0.98 ± 0.09	0.89 ± 0.11	0.56 ± 0.16	0.49 ± 0.10
Porosidad total (%)	56.8 ± 2.6	59.2 ± 3.4	54.4 ± 7.8	54.1 ± 3.7	59.2 ± 3.5	73.1 ± 6.6	76.3 ± 4.7
CC ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0.34 ± 0.03	0.35 ± 0.04	0.32 ± 0.09	0.31 ± 0.03	0.36 ± 0.02	0.30 ± 0.05	0.23 ± 0.04
PMP ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0.28 ± 0.02	0.27 ± 0.03	0.20 ± 0.07	0.21 ± 0.02	0.26 ± 0.02	0.21 ± 0.04	0.17 ± 0.03
AA ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0.09 ± 0.02	0.09 ± 0.03	0.13 ± 0.02	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.04	0.07 ± 0.03
CH (cm h^{-1})	4.95 ± 1.40	2.46 ± 1.51	0.62 ± 0.22	1.47 ± 0.44	1.47 ± 1.54	5.68 ± 2.36	8.24 ± 2.98

en ocasiones estos últimos la unidad, como en las fincas ONZ (1.16 Mg m^{-3}) y ORD (1.04 Mg m^{-3}). La porosidad total del suelo es media en las fincas (54.1 a 59.2%) y alta en los bosques (73.1% a 76.3%), siendo significativa la diferencia. La variación de la porosidad depende sobre todo del contenido de CO ($r = 0.74$, $p < 0.05$), más abundante en los suelos forestales y en los horizontes superficiales. Por lo mismo, la porosidad también disminuye con la profundidad del suelo: en los cafetaleros fue de 57% en promedio en el horizonte superficial y de 49% en el subsuperficial (diferencia significativa), relacionada con una disminución de CO de 40.6 g kg^{-1} a 22.4 g kg^{-1} . El desarrollo de una estructura porosa del suelo es la principal causa de la baja densidad aparente de los suelos de origen volcánico, siendo el alofano uno de los compuestos mineralógicos no-cristalinos que más contribuye a ello. La porosidad y la distribución de los poros por tamaño, dependen del grado de desarrollo del suelo (Shoji *et al.* 1993). A diferencia del BMM, en los cafetales se produjo un aumento de la densidad aparente, con la consecuente disminución del espacio poroso del suelo. Sin embargo, la intensidad de manejo del sistema cafetalero no influyó, ya que no se observaron diferencias significativas de porosidad entre fincas.

El contenido de agua a capacidad de campo (CC) varió de 0.31 a $0.35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ en suelos cafetaleros y de 0.23 a $0.30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ en forestales; la diferencia fue significativa sólo entre el bosque MAS y las fincas MIR, VCS y SOL. Estos valores indican una disponibilidad potencial de agua en los primeros 20 cm de espesor, equivalente a $600\text{-}700 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en las fincas y a $440\text{-}680 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en los bosques, atribuyéndose tal diferencia más a las propiedades de los suelos que al tipo de uso. En las fincas los valores no registraron

diferencias significativas; por horizontes, fueron en promedio de $0.33 \pm 0.05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ en los superficiales y de $0.34 \pm 0.05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ en los subsuperficiales, indicando que la intensidad de manejo no influyó en la retención de agua.

El contenido de agua a punto de marchitez permanente (PMP) varió de 0.20 a $0.28 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ en suelos cafetaleros, y de 0.17 a $0.21 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ en los de bosque. En las fincas, el promedio fue de $0.24 \pm 0.04 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ en los horizontes superficiales y de $0.25 \pm 0.05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ en los subsuperficiales; las diferencias entre horizontes y entre fincas no fueron significativas por lo que se concluye que el manejo no influyó en esta propiedad. Los valores relativamente elevados de PMP indican que una cantidad apreciable de agua es retenida bajo fuerte tensión en el suelo y no está disponible para las plantas.

El agua realmente disponible para las plantas o agua aprovechable (AA) alcanzó valores de 0.09 a $0.13 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ en suelos cafetaleros y 0.07 a $0.10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ bajo bosque. El volumen de agua por superficie de terreno, en los primeros 20 cm de espesor de suelo, varió de 180 a $260 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en fincas, y de 100 a $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en bosque, y fue significativamente mayor en las fincas MIR, ONZ, VCS y SOL que en el bosque CAN (Cuadro 15.3). Entre fincas sin embargo, las diferencias no fueron significativas, debido a que la intensidad del manejo no tuvo efecto sobre la disponibilidad de agua aprovechable.

La conductividad hidráulica (CH) del suelo fue moderadamente lenta en los suelos cafetaleros con 0.62 a 4.95 cm h^{-1} y más rápida en los forestales, con 5.68 a 8.24 cm h^{-1} (diferencia significativa). Se incrementó en el subsuelo de todas las fincas (de 1.88 ± 1.87 a $2.51 \pm 1.89 \text{ cm h}^{-1}$ en promedio en relación al horizonte

superficial), y disminuyó en el subsuelo de los suelos forestales (de 7.70 ± 2.51 a 5.60 ± 2.85 cm h⁻¹). Al comparar las fincas, no se observaron diferencias significativas, por lo que se concluye que la intensidad de manejo no obstaculizó ni la circulación ni la absorción del agua en el suelo.

Calidad de los suelos

La calidad del suelo es alta en todas las fincas debido a los importantes contenidos de materia orgánica. El humus que resulta de su descomposición contribuye a fortalecer la estabilidad de la estructura, aumentar la porosidad, facilitar los intercambios de gases y agua, y prevenir posibles procesos de degradación del suelo, especialmente en las fincas ubicadas sobre pendientes y con mayor intensidad de manejo (SOL, VCS, ONZ), donde el riesgo es más fuerte.

Sin embargo, la evolución de la materia orgánica es más bien lenta debido al efecto estabilizador del aluminio de los minerales no-cristalinos, con el cual el humus forma fuertes enlaces (Shoji *et al.* 1993) y por esta razón el suelo se convierte en un retenedor de CO. Así, el CO retenido en los horizontes superiores de las fincas alcanzó 27.4 a 33.6 Mg C ha⁻¹ y en los bosques, 24.4 a 27.2 Mg C ha⁻¹. Resultó particularmente interesante que el almacén de CO fue más elevado en las fincas con manejo orgánico MIR (33.6 Mg C ha⁻¹) y con manejo híbrido ONZ (32.7 Mg C ha⁻¹), que en la del sistema a pleno sol SOL (28.6 Mg C ha⁻¹). Dichos resultados mostraron también que el almacén de CO puede ser incluso más importante en los agroecosistemas cafetaleros que en el bosque. Se concluye que los suelos cafetaleros tienen la capacidad para secuestrar carbono en las fincas donde se acumulan residuos orgánicos y se agrega abono orgánico, por lo que es factible esperar en ellas una ganancia neta de CO. Por esta razón, los cafetales de sombra jugarían un papel importante en la prestación de servicio de captura de carbono, al igual que el BMM.

Muchas reacciones químicas que influyen en la disponibilidad de los nutrientes dependen del ambiente químico del suelo y en particular del pH. A ese respecto, la calidad del suelo, evaluada mediante el grado de acidez y la saturación en bases intercambiables, fue calificada como baja, tanto en los bosques CAÑ y MAS, como en los cafetales ONZ, ORD y SOL, y media en las cafetales MIR y VCS. Este ambiente es restrictivo y resulta de la edafogénesis

particular de los suelos con propiedades ándicas y no de procesos de degradación. La acidez en Andosoles está determinada por la mineralogía de la fracción coloidal y el grado de saturación en bases, y ocurre en regiones húmedas donde la lixiviación de bases es intensa (Shoji *et al.* 1993). La materia orgánica también contribuye a la acidez de los Andosoles, especialmente bajo bosque, donde la liberación de ácidos orgánicos durante el proceso de transformación del CO es importante.

La calidad del suelo en cuanto a disponibilidad de macronutrientes (N, P, K) varía de baja (MAS) a media (CAÑ) en bosque y de media (MIR, ONZ, ORD, VCS) a alta (SOL) en cafetales. Esto es consecuencia de la acidez del suelo, de la lixiviación natural de bases como el potasio y de la fijación del fósforo, siendo este último el nutriente más limitativo para el crecimiento de las plantas en los suelos con propiedades ándicas. La razón por la cual los agroecosistemas calificaron mejor que los bosques respecto a la disponibilidad de nutrientes, se debe sobre todo a las concentraciones más elevadas de potasio, como posible consecuencia de las aplicaciones de fertilizante potásico. Esta práctica es esencial para elevar la concentración de potasio por arriba de 0.3 cmol kg⁻¹, nivel abajo del cual se manifiestan deficiencias críticas para el café y muchos otros cultivos. Los suelos naturales de la región no brindan un servicio ambiental en cuanto a disponibilidad de macronutrientes, a excepción del nitrógeno; sin embargo, se observó que la aplicación de fertilizante en los agroecosistemas cafetaleros mejoró la fertilidad en potasio, calcio y parcialmente en fósforo, lo cual aumentaría la disponibilidad de nutrientes a diferencia del bosque.

La alta porosidad, la baja densidad aparente, la textura franca y la profundidad, son características muy favorables a la germinación de las semillas y al buen enraizamiento de las plantas. Dichas características están estrechamente relacionadas con una estructura que permite trabajar fácilmente el suelo y lo hace resistente a la erosión, por su contenido de materia orgánica y la abundancia de materiales no-cristalinos. La calidad del suelo resultante es alta en todos los sitios estudiados, por lo que se considera que el suelo ofrece un servicio ambiental como sustrato para el buen crecimiento y desarrollo de las plantas. En los agroecosistemas cafetaleros, dicha calidad es equivalente a la de los bosques, debido a que las prácticas de manejo alternativas (chapeo manual, cobertura

herbácea controlada, residuos orgánicos) contribuyen a la conservación de las propiedades de los suelos.

Basado en Landon (1991), quien considera AA < 0.12 cm³ cm⁻³ como nivel bajo para la familia de texturas como las que caracterizan los suelos de los sitios estudiados, resultó que la capacidad de almacenamiento de AA es baja en todos los sitios (en promedio de 0.07 a 0.10 cm³ cm⁻³), excepto en ONZ con un nivel medio de 0.13 cm³ cm⁻³. Estos bajos niveles de AA se deben a que la retención al punto de marchitez permanente es elevada, a pesar de que la retención de agua a capacidad de campo también lo es. En consecuencia, se puede afirmar que ni los suelos forestales ni los cafetaleros ofrecen un servicio edáfico de importancia en cuanto a la disponibilidad de agua para las plantas; sin embargo, constituyen un componente clave del ciclo hidrológico como almacén de agua, calculado, en un espesor total de suelo de 20 cm, entre 610 y 710 m³ ha⁻¹ en fincas y entre 450 y 600 m³ ha⁻¹ en BMM.

Por su parte, la conductividad hidráulica (CH) indica la facilidad con la cual el agua transita por el suelo y llega a las raíces de las plantas y a los mantos freáticos. Cuando es lenta, el suelo se anega fácilmente, especialmente en zonas planas y hondonadas, provocando condiciones de hidromorfia, asfixiantes para las plantas; pero si es rápida a muy rápida, el agua no permanece el tiempo suficiente para ser absorbida por las plantas, el suelo se reseca y el agua puede arrastrar nutrientes, y eventualmente contaminantes hacia las capas inferiores y los mantos freáticos, provocando una disminución de la fertilidad y una posible contaminación de los arroyos. De acuerdo con los valores obtenidos de CH, la calidad edáfica resultante puede calificarse como media en las fincas y alta en el bosque, reflejando así condiciones adecuadas para la circulación vertical del agua y que, al mismo tiempo, limitan el arrastre excesivo de nutrientes y otras sustancias hacia la profundidad, especialmente en las fincas.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Los suelos de bosque mesófilo estudiados brindan servicios ambientales como sustrato para el establecimiento y crecimiento de las plantas, participan de manera importante en el ciclo del carbono como sumideros y son proveedores de nitrógeno; en menor grado, funcionan como almacén y filtro de agua. Estos servicios los presentan también los cafetaleros, debido a que

al menos en la parte superficial, conservaron muchas propiedades edáficas favorables. Sin embargo, para mantener estas condiciones en el futuro:

- Se recomiendan prácticas de conservación en las fincas ubicadas sobre laderas, para evitar la erosión pluvial de la capa más fértil del suelo (protección de taludes y bordes de caminos, control de cárcavas con pequeñas presas, asociación con plantas arbustivas o rastreras cultivadas en contorno, conservación del mantillo).
- Es deseable efectuar una evaluación periódica de la calidad del suelo de las fincas, a través del monitoreo de indicadores de cambio edáfico rápido (nitrógeno total y mineralizable, fósforo disponible, infiltración, retención de humedad, compactación, respiración, actividad de lombrices), tanto en forma cualitativa con evaluación de campo conjunta con los productores, como cuantitativa con pruebas de laboratorio.
- Evaluar adecuadamente la disponibilidad de nitrógeno para las plantas, llevando a cabo estudios complementarios que determinen las cantidades de amonio y nitratos producidos por la mineralización del nitrógeno orgánico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Enrique Meza Pérez por el apoyo en el trabajo de campo, a José García-Franco, Klaus Mehltreter, César Tejeda Cruz y un revisor anónimo por la lectura crítica del documento, y a Estela Enríquez Fernández por la revisión del texto, comentarios y sugerencias para mejorarlo.

REFERENCIAS

- Astier-Calderón M, Maass-Moreno M, Etchevers-Barra J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36(5):605-620.
- Conway G. 1994. Sustainability in Agricultural Development: tradeoffs between productivity, stability, and equitability. *Journal for Farming Systems and Research-Extensions* 4:1-14.
- Daily GC, editor. 1997. *Nature's Services. Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington D.C., USA. 392 p.

- Daily GC, Matson PA, Vitousek PM. 1997. Ecosystem services supplied by soil. En: Daily GC, editor. *Nature's Services. Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, USA. p 113-132.
- Doran JW, Parkin TB. 1994. Defining and assessing soil quality. En: Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DC, Stewart BA, editores. *Defining and Assessing Soil Quality for Sustainable Environment. Soil Science Society of America*. Special Publication 35. Madison, Wisconsin, USA. p 3-21.
- Doran JW, Parkin TB. 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. En: Doran JW, Jones AJ, editores. *Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America*, Special Publication 49:25-37.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 1994. *FESLM: an International Framework for Evaluating Sustainable Land Management*. World Soil Resources Report. Rome, Italy. 74 p.
- Fisher RF, Binkley D. 2000. *Ecology and management of forest soils*. John Wiley and Sons, Inc. 3a ed. NY. 490 p.
- Geissert D, Ramírez M, Meza E. 2000. Propiedades físicas y químicas de un suelo volcánico bajo bosque y cultivo en Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 2(1):31-34.
- Kosmas C, Gerontidis ST, Marathianou M. 2000. The effect of land use change on soils and vegetation over various lithological formations on Lesbos (Greece). *Catena* 40:51-68.
- Landon JR, editor. 1991. *Booker Tropical Soil Manual*. Longman Scientific & Technical, Booker Tate, London. 474 p.
- Meza E, Geissert D. 2003. Estructura, agregación y porosidad en suelos forestales y cultivados de origen volcánico del Cofre de Perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 5(2):57-60.
- Meza E, Geissert D. 2006. Estabilidad de estructura en Andisoles de uso forestal y cultivados. *Terra Latinoamericana* 24(2):163-170.
- Parr JF, Papendick RI, Hornick SB, Meyer RE. 1992. Soil quality: Attributes and relationships to alternative and sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture* 7:5-11.
- Schumacher TE, Lindstrom MJ, Schumacher JA, Lemme GD. 1999. Modeling spatial variation in productivity due to tillage and water erosion. *Soil & Tillage Research*, 51(3-4):331-339.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*, 31 de diciembre de 2002. Segunda Sección, p 1-75. <http://portal.semarnat.gob.mx/dof/textos/31122002.zip>
- Shoji S, Nanzyo M, Dahlgren R. 1993. *Volcanic ash soils. Genesis, properties and utilization*. Developments in Soil Science 21. Elsevier Science Publ. The Netherlands. 288 p.
- SICS-ISRIC-FAO. 1999. *Base referencial Mundial del Recurso Suelo*. Informe sobre Recursos Mundiales de Suelo No. 84, Roma. 90 p.

Almacenamiento de carbono

RAYMUNDO DÁVALOS SOTELO, MARÍA I. RODRIGUES MORATO
Y ENRIQUE MARTÍNEZ PINILLOS-CUETO

Resumen

El calentamiento global es un fenómeno que afecta la vida de todos los seres vivos. Una forma de mitigarlo es a través del almacenamiento de carbono por las masas forestales. Los cultivos de café con árboles de sombra tienen un importante potencial de almacenar carbono. Por medio de un esquema de pagos de servicios ambientales, se podría compensar a los propietarios de las fincas para que conserven o aumenten su cobertura arbórea. Para estimar la capacidad de almacenamiento de los árboles en estos cultivos, es necesario estimar la biomasa forestal existente. Esta se puede estimar mediante la densidad básica (masa por unidad de volumen) de la madera de árboles de sombra y del volumen total de la biomasa. La capacidad de almacenamiento de carbono de las fincas es directamente proporcional a la biomasa leñosa presente. El tipo de cultivo que incorpora un mayor número de árboles y de capacidad potencial de almacenar carbono, es el "rústico" en la subcategorías "Medio" y "Bajo", seguido por los "Policultivos" y finalmente los "Monocultivos". Se comparan estos resultados con otros estudios con el fin de evaluar las posibilidades de que los cafeticultores del estado de Veracruz puedan participar en los mercados para este tipo de servicio ambiental.

Abstract

Global warming is a transcendental phenomenon affecting all living beings on earth. One possible way to mitigate this problem is through carbon storage via reforestation. Shade coffee plantations have an important potential to capture and store carbon from the atmosphere. By means of payments for such ecosystem services, plantation owners could be convinced to conserve and even increase the density of trees growing in their farms. To estimate the carbon storage capacity of shade-trees, forest biomass must be determined. We estimated this, using the relative density (specific gravity) of the wood from the shade-trees selected and the total volume of the biomass. The carbon storage capacity of coffee plantations is directly proportional to the amount of woody biomass present. The cultivation type referred to as "rustic" ("medium" and "low") was found to incorporate a greater number of trees and therefore, has the greater capacity to store carbon, followed by the management type known as "Polycultures" and finally shade "Monocultures". These results are compared to those for other studies with the goal of evaluating the feasibility that coffee growers in central Veracruz enter into the developing markets for this ecosystem service.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno que se expresa como una desviación del tiempo meteorológico promedio esperado o de las condiciones climáticas normales (temperatura y precipitación) para un lugar y tiempo dados. En la actualidad, el cambio climático global (CCG) se atribuye generalmente a la concentración en la atmósfera de los llamados “gases de efecto invernadero” (GEI) por arriba de los niveles históricos. Se estima que el incremento de bióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4) y ozono (O_3) en la atmósfera producirá un aumento en la temperatura media global entre 3 y 5 °C, y afectará fuertemente los patrones de precipitación actuales (IPCC 2007). El cambio climático tiene el enorme potencial de producir cambios significativos en el estado medio del sistema tierra-océano-atmósfera lo que resultaría en cambios en los patrones de circulación de la atmósfera y del océano, los cuáles a su vez impactan el tiempo regional a través de eventos como huracanes y los ciclos El Niño-La Niña (IPCC 2000). Debido a su abundancia, el bióxido de carbono (CO_2) es el gas de efecto invernadero más importante producido por las actividades humanas. En los últimos 150 años, el nivel de concentraciones ha tenido un aumento significativo de CO_2 pasando de 280 ppm en la época pre-industrial a 379 en 2005 (IPCC 2007); cerca de un 20% de las emisiones de este gas resultan de la eliminación y degradación y transformación de los ecosistemas como los bosques (Cannell 1996, Schimel *et al.* 2001, Schlegel 2001).

Los sistemas ecológicos de la Tierra, por medio de los cuales el carbono (C) queda retenido en la biomasa viva o cantidad de materia vegetal, en la materia orgánica en descomposición y en el suelo, desempeñan un papel importante en el ciclo del carbono. El carbono es intercambiado de manera natural entre estos sistemas y la atmósfera mediante los procesos de fotosíntesis, respiración, descomposición y combustión. La biomasa de la vegetación leñosa se define como la cantidad total de material orgánica viva que existe por arriba del suelo (incluyendo hojas, varas, ramas, fuste y corteza) expresada como peso anhidro (seco en estufa) en toneladas por unidad de área (Brown 1997). La biomasa de la vegetación leñosa es un depósito importante de los gases de efecto invernadero (GEI) y contribuye al almacenamiento de carbono en el suelo a través de la acumulación de la materia orgánica (Schneider 1989).

La determinación adecuada de la biomasa forestal es un elemento de gran importancia debido a que ésta permite determinar la cantidad de carbono y otros elementos existentes en las hojas, ramas, fuste y raíces. Lo anterior es fuente de información importante para los proyectos de servicios ambientales que cada día se hacen más frecuentes (Brown *et al.* 1996, Méndez *et al.* 2002).

Los estudios de biomasa encaminados a conocer las cantidades de C fijadas en la biomasa en hojas, ramas y fuste son escasos en México y más aún en la vegetación leñosa de fincas de café. Los estudios de Oelberman *et al.* (2004), Hartemink (2005) y Mutuo *et al.* (2005) presentan información relevante acerca del potencial de almacenamiento y captura de C en sistemas agroforestales (basados en árboles) en regiones tropicales. En nuestro país, algunas de estas investigaciones se han realizado en bosques tropicales y semiáridos (Nájera 1999, Ordóñez *et al.* 2001, Nelson y De Jong 2003), y otras se han dirigido a ecosistemas templados (Návar-Cháidez *et al.* 2005, Montes de Oca y García 2005, Díaz-Franco *et al.* 2007, Pimienta de la Torre 2007). Los estudios de Maserá *et al.* (1995, 1997, 2001) también son una importante fuente de información y de análisis para este tema.

Los sistemas agroforestales han sido reconocidos como parte de los sumideros de carbono, pero aún no se conoce mucho sobre su potencial (Ávila *et al.* 2001). Ortiz-Ceballos (2004), Peña del Valle *et al.* (2006) y Soto-Pinto *et al.* (2006) demostraron que los agroecosistemas cafetaleros, con sombra diversificada, son sistemas potenciales en la captura de carbono. Estos sistemas representan una opción para los productores de café, no solamente para proporcionar un valor ecológico agregado, al propiciar la captación de carbono sino también para contar con una fuente económica adicional que les permita integrarse al desarrollo sustentable del país. Las opciones económicas adicionales a la producción de café que ofrecen dichos ecosistemas es a través del pago de bonos por captura de carbono o por medio de la producción de madera y leña (Peeters *et al.* 2003). El pago de servicios ambientales por fijación y almacenamiento de C representa una opción para dar valor agregado a la producción, que podría tener un gran potencial e importancia para los productores (Ávila *et al.* 2001, Chomitz, *et al.* 2007), y en consecuencia, representa una estrategia que debe ser considerada, diseñada e implementada a corto plazo (Pineda-López *et al.* 2005).

Es necesario poder medir la biomasa cuando se considera la cuestión de los sumideros de carbono, puesto que las mediciones de la biomasa proveen una estimación de la cantidad de carbono contenida en la vegetación. Por lo tanto, la biomasa representa una medida indirecta de la cantidad de carbono que es almacenada por la vegetación leñosa. La estimación de la biomasa también permite establecer la cantidad de bióxido de carbono que puede ser removida de la atmósfera por la reforestación (Polzot 2004). Las técnicas de estimación de biomasa, en general, son muy costosas, debido al enorme volumen de material que se requiere coleccionar para generar las ecuaciones de cálculo. Por eso, en este trabajo se optó por estimarla mediante la densidad de la madera obtenida en especímenes del fuste de las especies estudiadas que, junto con información sobre las dimensiones de los árboles, y muestreos de la biomasa total de la vegetación leñosa, se espera sea un procedimiento más económico para futuros estudios.

El objetivo del presente estudio fue estimar la cantidad de carbono almacenado por la biomasa de fuste, ramas y hojas en seis especies forestales que se emplean como árboles de sombra en los cafetales. A partir de esta información, y con los datos de muestreos de la biomasa total de la vegetación leñosa en varias fincas de café, se pretende inferir el total del carbono almacenado por la biomasa existente en la vegetación leñosa de las fincas de café del centro del estado de Veracruz.

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción de los sitios y las especies estudiadas

El estudio de la biomasa de seis especies de árboles se realizó en cuatro fincas de tres municipios en la región central de Veracruz: Ixhuatlán del Café (MOR), Coatepec (ESM y PAN) y Totutla (VBM). Mientras que el conjunto de fincas incluidas en el proyecto Biocafé se seleccionaron de manera que representen puntos distintos a lo largo del gradiente de intensificación del manejo del café en la región de estudio (Capítulo 1), las cuatro fincas de esta parte del estudio representan algunas de las estructuras y manejos más comunes en esta misma región; la finca VBM se clasifica como cultivo rústico con manejo medio-híbrido, mientras que las fincas PAN y MOR y ESM están caracterizadas como policultivos simples con manejo alto-híbrido,

bajo-alternativo, y medio-híbrido, respectivamente (Cuadro 2.9, Capítulo 2).

La vegetación leñosa de estas fincas es dominada por las especies *Inga vera*, *Citrus* spp., *Inga latibracteata*, *Inga jinicuil*, *Trema micrantha* (ixpepe), *Mimosa scabrella* (bracatinga), *Heliocarpus donnell-smithi*, *Enterolobium cyclocarpum* (guanacaxtle), (*Melia azederach* (piocho) y *Quercus* sp. (encinos) (Capítulo 4). Destacan las especies recientemente introducidas como la *Mimosa scabrella* (bracatinga) y el *Acrocarpus fraxinifolius* (cedro rosado), las cuáles tienen un rápido crecimiento con lo que se pretende obtener más rápidamente, madera para usos locales.

Debido al alto costo y dificultad técnica que implica coleccionar árboles de gran tamaño y transportarlos al laboratorio, se escogieron solamente seis especies de las más representativas, abundantes, y con el más alto potencial comercial que se encontraron en las fincas estudiadas. También, fue necesario asegurar que los dueños estuvieran de acuerdo en que se derribaran los árboles y enfocarse en las especies consideradas como de interés para ellos y que fueron plantadas con el doble propósito de sombra y madera; tal es el caso de *Acrocarpus fraxinifolius* y *Mimosa scabrella*. Se seleccionaron individuos que además de la talla necesaria (con diámetros mayores a 30 cm y longitud del fuste, antes de la ramificación, de al menos seis metros), presentarían fuste recto y crecerían en sitios con pendientes no mayores a 15%. Los árboles eran libres de plagas y enfermedades y libres de defectos tanto físicos como mecánicos. La colecta de los fustes y el resto del material (ramas y follaje) analizado fue parte del proyecto enfocado en evaluar la calidad de la madera (Capítulo 17). Es importante resaltar que, para evitar afectar el área donde los demás investigadores estaban haciendo sus estudios de manera simultánea, los árboles seleccionados estaban fuera de las áreas de los puntos marcados como sitios de muestreo dentro del proyecto, pero siempre dentro de la misma zona y muy cercanos a los puntos de muestreo, en un radio menor a 50 m de distancia. Los datos registrados para cada individuo se presentan en el Cuadro 16.1.

Para la obtención de biomasa del fuste, se derribaron los árboles seleccionados y se cortaron los fustes en trozas de 1.20 m. De los primeros seis árboles coleccionados (uno de cada especie) se obtuvieron todas las ramas y el follaje para el cálculo de la biomasa, y se colocaron en bolsas de plástico para evitar la pérdida de humedad excesiva. Por la dificultad de manipular

Cuadro 16.1. Características de los árboles estudiados en fincas de café en el centro del estado de Veracruz. Véanse Capítulos 1, 2 y 4 para más información sobre los sitios de donde se obtuvieron estos árboles, así como el capítulo 17 para más detalles sobre las características de la madera de estos mismos árboles.

Árbol	Especie	Nombre común	Sitio	Ind/ha	Long. Comercial (m)	Altura total (m)	Altura 1a rama (m)	DAP (cm)
164	<i>Mimosa scabrella</i>	Bracatinga	ESM	136	8.0	12.0	5.5	29.0
165	<i>Trema micrantha</i>	Ixpepe	ESM	10	3.8	18.5	3.8	44.0
166	<i>Trema micrantha</i>	Ixpepe	ESM	10	5.4	20.0	5.4	67.5
167	<i>Mimosa scabrella</i>	Bracatinga	ESM	136	6.1	12.0	6.1	25.5
168	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	Cedro rosado	MOR	47	7.0	20.5	6.0	30.2
169	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	Cedro rosado	MOR	47	7.1	22.5	7.1	28.6
170	<i>Trema micrantha</i>	Ixpepe	MOR	33	6.3	18.3	6.3	42.9
171	<i>Trema micrantha</i>	Ixpepe	MOR	33	6.6	16.7	6.6	40.4
172	<i>Melia azedarach</i>	Piocho	PAN	6	5.0	19.0	5.0	50.6
173	<i>Melia azedarach</i>	Piocho	PAN	6	7.2	20.0	7.2	48.7
178	<i>Quercus oleoides</i>	Tezmore	VBM	42	6.4	21.0	6.4	51.8
180	<i>Quercus laurina</i>	Encino rojo	VBM	5	8.5	18.5	10.0	50.6

las trozas en el laboratorio debido a su gran peso y volumen, para pesar en las básculas de laboratorio solamente se obtuvieron especímenes representativos. El peso total de las trozas se calculó tomando en cuenta su volumen a partir de los datos de densidad determinados. Las hojas y frutos se pesaron en conjunto y su peso se agregó al de las ramas y fustes para el cálculo de la biomasa total. Para los otros seis árboles colectados, solamente se colectó el total de la madera del fuste y una parte de ramas y follaje. Para estos individuos, los pesos totales de las ramas y follaje se estimaron a partir de una cantidad de biomasa de aproximadamente el 15%.

Procedimiento de laboratorio

Estimación de peso anhidro. Se obtuvieron los datos de peso “verde” (húmedo), volumen “verde” y peso anhidro (secado en estufa), para estimar la biomasa aérea de cada árbol individual. La determinación de la biomasa de los árboles se obtuvo inicialmente pesando por separado sus componentes húmedos incluyendo: 1) especímenes del tronco 2) ramas y 3) el conjunto de hojas y frutos. Posteriormente, las cantidades de biomasa colectadas se colocaron en charolas y se introdujeron en una estufa de secado solar por un mínimo de ocho días hasta tener un peso aproximadamente constante, lo que significaba que habían alcanzado

un contenido de humedad relativamente constante; después se colocaron en hornos de laboratorio para completar el proceso de secado. Los pesos anhidros se obtuvieron secando los especímenes en estufa a 105 °C. Con estas variables se obtuvo la densidad relativa o básica (DB: peso anhidro entre volumen verde, PA/VV) por espécimen. La densidad relativa así calculada se utilizó para estimar el peso anhidro del fuste completo, mediante extrapolación de cada espécimen a cada troza del árbol. Los especímenes de madera de las ramas incluyeron corteza para tomar en cuenta su peso particular. Para fines del cálculo de la biomasa de los fustes, en todo caso se empleó la densidad con corteza, aunque la corteza representa una fracción muy pequeña del volumen (y peso) del tronco. La diferencia en valor de la densidad con y sin corteza es muy pequeña (del orden de 3%), como se puede observar de los datos del Cuadro 16.2.

Cálculo de la biomasa. Para determinar la biomasa total del árbol se calculó primeramente el peso total del fuste, multiplicando su volumen comercial por la densidad anhidra aparente calculada, con la siguiente fórmula:

$$W = VCC * DA \quad (1)$$

Donde: W = Peso del fuste (ton), VCC = Volumen del fuste limpio (sin ramas) con corteza (m³) y DA =

Cuadro 16.2. Características físicas de los árboles estudiados en cuatro fincas de café en el centro del estado de Veracruz incluyendo valores de contenido de humedad, volumen, densidad de la madera de árboles con y sin corteza, peso de la biomasa de cada árbol colectado.

Árbol	Nombre común	Cont. Humedad fuste (%)	Cont. Humedad follaje (%)	Vol fuste (m ³)	Densidad sin corteza (PA/VV)	Densidad con corteza (PA/VV)	Peso anhidro fuste (kg)	Peso anhidro ramas y follaje (kg)	Peso total (kg)	Razón FEB Peso Total /Peso fuste (kg)
164	Bracatinga	71.4	107.7	0.450	0.482	0.462	208.0	217.0	425.0	2.04
165	Ixpepe	73.4	124.8	0.692	0.459	0.444	306.2	456.7	762.9	2.49
166*	Ixpepe	101.6	134.1	1.353	0.464	0.449	607.8	900.3	1508.1	2.48
167*	Bracatinga	97.9	115.2	0.218	0.482	0.467	101.9	75.6	177.4	1.74
168	Cedro rosado	75.8	107.8	0.351	0.430	0.416	146.4	217.8	364.2	2.49
169*	Cedro rosado	66.4	96.4	0.319	0.454	0.439	140.0	178.1	318.1	2.27
170*	Ixpepe	123.7	127.4	0.637	0.479	0.472	301.8	245.1	546.9	1.81
171*	Ixpepe	93.8	140.1	0.592	0.444	0.429	253.8	407.0	660.8	2.60
172	Piocho	45.3	81.4	0.985	0.475	0.465	458.3	194.2	652.5	1.42
173*	Piocho	79.2	118.3	0.939	0.465	0.45	422.4	133.7	556.1	1.32
178	Tezmole	43.6	81.3	0.944	0.648	0.63	594.4	786.5	1380.9	2.32
180	Encino Rojo	45.2	67.5	1.196	0.714	0.69	825.6	946.5	1772.1	2.15
	Promedios	76.5	108.5	0.723	0.500	0.484	363.9	396.5	760.4	2.10

*Árboles de los cuales se colectó únicamente el 15% de ramas, hojas y frutos.

densidad aparente de la madera (ton/m³). La densidad aparente de la madera (DA) es igual en valor numérico a la densidad básica (DB), solamente que la primera tiene dimensiones de peso por unidad de volumen y la segunda es adimensional pues es un valor relativo a la densidad del agua que es igual a 1.

Para los cálculos de biomasa, se estimó el volumen del fuste de cada árbol individual (VCC) a partir de los datos de DAP, la longitud comercial del fuste (es decir, sin grandes ramas) y el factor de ahusamiento (estimado en 0.7 para todos los casos), porque los troncos de los árboles no son cilindros perfectos, sino más bien, tienen forma cónica. El peso de ramas y follaje se obtuvo directamente de las mediciones en las básculas utilizadas. Después de obtener esta información, se sumaron los pesos obtenidos de cada componente (fuste más ramas y follaje), para determinar la biomasa total. Este procedimiento se hizo únicamente con los seis primeros árboles. Con el segundo conjunto de seis árboles, la estimación del peso de ramas y follaje se hizo a partir de una muestra estimada en 15% del total. En el Cuadro 16.2 se presenta la información del peso del fuste de cada árbol colectado y del peso de ramas y follaje.

La suma de ambos valores constituye el peso total del árbol.

Estimación de la biomasa de la vegetación leñosa. La cantidad de biomasa de los árboles en un bosque o plantación se calcula estimando primeramente la biomasa de los fustes y luego “expandiendo” este valor para tomar en cuenta la biomasa de los otros componentes (ramas y follaje), con la siguiente ecuación (Brown y Lugo 1992):

$$WBA = VCC * DA * FEB \quad (2)$$

Donde: WBA = Peso de la biomasa aérea (ton), FEB = factor de expansión de la biomasa y los otros términos son como se definieron antes. El factor de expansión de la biomasa FEB se define como la razón del peso seco de la biomasa total de los árboles con un DAP mínimo de 10 cm al peso seco de la biomasa del fuste de los árboles (Brown y Lugo 1992). Con los datos de los árboles colectados, se calculó una razón del peso del fuste entre el peso del follaje y se empleó el valor promedio como representativo del valor del FEB, el cual se usó en el cálculo de la biomasa de los árboles identificados en el estudio de la vegetación leñosa.

Estimación del carbono almacenado. Cantidad de carbono contenida en la biomasa llamada “almacén de carbono” (*stock* en la literatura en inglés). Varios almacenes de carbono pueden ser identificados dentro de los sistemas forestales. Estos incluyen el suelo, la madera viva de los árboles, la madera subterránea en las raíces y la materia orgánica muerta en el piso del bosque. El carbono total almacenado en el ecosistema es simplemente la suma del carbono almacenado en los diferentes almacenes o depósitos (Maser *et al.* 2000). El almacén de carbono se expresa usualmente en toneladas de carbono por hectárea (TC/ha). A veces se emplean las unidades equivalentes de Mg ha⁻¹. Para fines de este estudio enfocado en las posibilidades de pagos por servicios ambientales, únicamente se estimó la cantidad de carbono almacenada en la parte aérea de la biomasa forestal (fustes, ramas y follajes).

Es importante hacer la distinción entre carbono “almacenado” y carbono “capturado”. El carbono almacenado es la cantidad total de C contenida por la biomasa, mientras que el carbono “capturado” o “secuestrado” es una medida del flujo dinámico del crecimiento anual de la biomasa. En esta parte del estudio, únicamente se considera la biomasa total existente al momento de hacer las mediciones iniciales de los árboles, la que se complementará en el futuro con datos de la tasa anual de crecimiento.

Conocido el peso seco de cada componente de los árboles es posible determinar el contenido de carbono. El contenido de carbono a nivel especie puede variar desde 40.27 hasta 46.29 e incluso más de 50% (Gayoso *et al.* 2002). Una ponderación específica e interespecífica de factores de contenido de carbono de raíces, fuste, ramas y hojas arroja una aproximación cercana al 50%, sugiriendo que cerca de la mitad del peso anhidro de sus constituyentes sólidos es equivalente a contenido de carbono (Brown 1997). Este factor de conversión también ha sido sugerido por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC 1994) para estudios de captura de carbono y fue utilizado para este estudio. La biomasa total de los árboles de sombra en una finca dada (TC/ha) se convirtió a almacén de carbono C (TC/ha) aplicando la ecuación siguiente:

$$C = WBA \times f_C \quad (3)$$

Donde: C = carbono almacenado por los árboles (TC/ha), WBA = biomasa (peso) de los árboles (TC/ha) y

f_C = fracción de carbono en la biomasa (supuesto de 0.5 (IPCC 1994)).

Para estimar la biomasa total de la vegetación leñosa existente en las fincas del proyecto, se emplearon los datos presentados en el Capítulo 4 de este mismo libro. Esta información permitió calcular el volumen total de la vegetación leñosa de las fincas de café. Los datos necesarios para calcular la biomasa son el volumen comercial del fuste de todos los árboles con un diámetro mínimo a la altura del pecho de 10 cm. Considerando el número de individuos en los sitios de muestreo, se estimó el volumen/ha de la vegetación leñosa de las fincas. Multiplicando el valor del volumen de la vegetación leñosa por la densidad promedio de la madera, se puede hacer una estimación de la biomasa total/ha, correspondiente a los fustes de los árboles existentes en las fincas. El volumen del fuste es convertido a biomasa multiplicándolo por la densidad promedio de la especie en cuestión y por el factor de expansión de biomasa FEB. Con los valores así calculados, se generó una estimación del peso total de la biomasa de la vegetación leñosa en las fincas cafetaleras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 16.2 muestra las características físicas de la madera de los árboles colectados, incluyendo el contenido de humedad inicial de fustes, ramas y follaje, el volumen de los troncos de los árboles, la densidad de la madera (con y sin corteza), el peso seco del fuste, ramas y follaje y el peso total, así como la razón FEB calculada. El valor promedio de la densidad relativa de la madera con corteza de los doce árboles colectados fue de 0.484 y 0.50 sin corteza. Como comparación, se pueden citar los datos de Segura *et al.* (2006) quienes determinaron un valor promedio de densidad de 0.52 para la madera de las especies de los cafetales de Nicaragua. Por su parte, Reyes *et al.* (1992) determinaron para 470 especies que crecen en las zonas neotropicales, que el promedio aritmético de la densidad de la madera expresada como PA/VV es de 0.60 y el rango de valores usuales es de 0.50-0.69, aunque no incluyeron especies de rápido crecimiento en sus cálculos, que son varias de las especies consideradas en este estudio, por lo que un valor cercano a 0.50 parece más adecuado para el tipo de especies que crecen en las fincas cafetaleras de la región bajo estudio. Por eso,

para fines de este estudio, el cálculo del peso del fuste de los árboles de las fincas se realizó utilizando el valor aproximado de 0.50 para la densidad promedio de la madera de los árboles. El Cuadro 16.2 incluye el peso total de cada árbol, que constituye la biomasa aérea total, sin raíces y la razón de peso total/peso del fuste (FEB). El valor promedio de FEB determinado de las mediciones con el material colectado fue 2.1, que es semejante al valor de 2.0 determinado por Brown *et al.* (1989) para la categoría de “bosques no productivos” definida por la FAO (1981) y es igual al valor promedio calculado por Segura *et al.* (2006) para especies de sombra en cafetales de Nicaragua, donde crecen especies muy semejantes a las de este estudio.

En el Cuadro 16.3 se presenta el volumen por hectárea en m³/ha de los 17 sitios de muestreo, lo cual da una idea de la variabilidad encontrada entre sitios. Este mismo cuadro también muestra los valores estimados para la biomasa de todas las fincas consideradas inicialmente en el proyecto, incluyendo dos de los tres bosques de control: PAR y CAN (promedio

53.3 m³/ha). Asimismo, se presentan los valores de carbono almacenado por hectárea (promedio general 25.4 TC/ha).

Los resultados del carbono almacenado en promedio por tipo de cultivo se presentan en la última columna del Cuadro 16.3. La capacidad de almacenamiento de carbono de las fincas es directamente proporcional a la cantidad de biomasa leñosa presente. El tipo de cultivo que incorpora un mayor número de árboles y por consiguiente, de capacidad potencial de almacenar carbono, es el que se conoce como “Rústico” (Capítulo 2; 42.4 TC/ha), seguido por los “Policultivos” (promedio: 16.1 TC/ha). En cambio, el cultivo denominado “Monocultivos” tiene una menor capacidad potencial de almacenar carbono (4.5 TC/ha), debido a que hay un menor número de árboles presentes en esa clase de fincas. Curiosamente y contra lo que intuitivamente pudiera esperarse, los dos sitios de control o bosques, tienen, según los datos volumétricos registrados, una menor cantidad de biomasa arbórea que los tipos de fincas “rústicas”. Esto se debe fundamentalmente al

Cuadro 16.3. Biomasa total estimada y carbono almacenado por sitio de estudio en el centro del estado de Veracruz. La categorización de la estructura (categoría) de cada finca está descrita en más detalle en el Capítulo 2 de este mismo libro. Véase también el Capítulo 4 para los datos originales usados para estos cálculos.

Categoría	Clave	Individuos /ha	DAP prom (cm)	Área basal (m ² /ha)	Altura promedio (m)	Volumen /ha (m ³ /ha)	Biomasa total/ha (m ³ /ha)	Peso /ha (T/ha)	Carbono alm/ha (TC/ha)	Carbono alm/ha Promedio (T/ha)
Bosques	CAÑ	684	17.3	14.63	10.89	75.87	159.33	79.67	39.8	
	PAR	593	15.7	9.01	9.15	30.65	64.37	32.18	16.1	28.0
Rústicos	MIR	137	33.0	18.20	12.54	88.07	184.95	92.48	46.2	
	ORD	165	41.2	13.30	10.58	56.86	119.42	59.71	29.9	
	ARM	155	37.2	28.05	10.03	121.14	254.40	127.20	63.6	
	ZOP	120	37.2	21.28	10.60	94.83	199.15	99.58	49.8	
	VBM	153	31.3	12.22	13.46	79.22	166.36	83.18	41.6	
	ONZ	210	23.9	12.72	9.53	44.53	93.51	46.75	23.4	42.4
Policultivos	ALU	420	17.7	11.87	7.80	35.60	74.75	37.38	18.7	
	PAN	386	18.4	9.10	5.42	21.44	45.03	22.51	11.3	
	MOR	279	19.6	6.99	9.08	20.69	43.45	21.72	10.9	
	AUR	393	27.2	15.04	12.64	59.06	124.04	62.02	31.0	
	ESM	192	22.4	12.37	10.28	49.45	103.84	51.92	26.0	
	VCS	274	18.7	8.43	6.44	16.94	35.57	17.79	8.9	
	AXO	310	15.8	5.79	6.25	10.64	22.34	11.17	5.6	16.0
Monocultivos	VSE	266	18.3	7.75	5.48	12.55	26.36	13.18	6.6	
	MTZ	167	16.1	3.79	4.11	4.67	9.80	4.90	2.5	4.5

menor diámetro de los árboles presentes lo cual es una indicación que son fragmentos jóvenes o perturbados (Capítulos 2 y 4).

El valor promedio estimado de almacenamiento de carbono en las fincas es de 25.4 TC/ha (mín. 4.5, máx. 47.4), superior a los valores registrados por Ávila *et al.* (2001) quienes calcularon que los sistemas agroforestales de café de Costa Rica, los cuales son mucho más tecnificados que los de México, almacenan entre 7.5 y 12.5 TC/ha. Polzot (2004) determinó que la cantidad de carbono almacenado por los árboles de sombra de plantaciones de café también en Costa Rica varía de 33.2 TC/ha para cultivos diversificados a 6.8 TC/ha para monocultivos, que son valores muy semejantes a los resultados de este estudio. Este mismo estudio menciona varios otros estudios en los cuales la cantidad de carbono almacenada por los árboles de sombra en agroecosistemas cafetaleros varía de 3 a 31.8 TC/ha. Por su parte, Scherr (2002) presenta información sobre la capacidad de almacenamiento de carbono en diferentes ecosistemas forestales y menciona que el rango de variación para varios sistemas agroforestales (comparables a las fincas de café) es de 10 a 75 TC/ha, comparado con 300 TC/ha para el bosque primario. En México, Peeters (2001) encontró una cantidad de 67.9 T/ha de biomasa aérea contenida en los árboles de sombra de cafetales del estado de Chiapas, lo que se traduce en 33.95 TC/ha comparable con los cultivos “rústicos” de este estudio (23.4 a 63.6 TC/ha; Cuadro 16.3).

Cálculo de carbono almacenado

Para estimar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa forestal de las fincas de café con árboles de sombra, se puede usar la información presentada en este trabajo. El procedimiento que se considera más adecuado y económico para estimar la biomasa forestal es la medición directa a partir de los datos de densidad de la madera y volumen de la vegetación leñosa. Los valores de peso seco de la biomasa se pueden obtener a partir de los datos de densidad aparente de la madera de especímenes colectados con taladro Pressler o con métodos no destructivos (por ejemplo, con madera de ramas). Se debe calcular el volumen de cada árbol individual en el campo y de ahí se puede estimar el peso total de la biomasa por finca y la cantidad de carbono capturada.

Con una ecuación simple se puede estimar la cantidad para un árbol individual:

$$CC = 0,7 * AB * HF * DA * FEB * f_c \quad (4)$$

Donde: CC = carbono capturado (T), AB = Área basal (m^2) = $\pi * DAP^2/4$, HF = Altura del fuste limpio o comercial (m), DA = Densidad de la madera (T/m^3), FEB = Factor de expansión de biomasa y f_c = fracción de carbono en la biomasa.

Si no se sabe el valor de la densidad de la madera, se puede tener un valor aproximado utilizando el valor de 0.5. Aplicando el valor determinado en este estudio para FEB = 2.1 y el valor de f_c recomendado de 0.5 resulta la ecuación siguiente (aplicable a agroecosistemas semejantes a los de este estudio, fincas cafetaleras con árboles de sombra):

$$CC = 289 * DAP^2 * HF \quad (5)$$

la que resulta una ecuación extremadamente simple, dependiente únicamente de las dimensiones de los árboles, información que es relativamente fácil y económica de obtener.

Los resultados aquí presentados sirven para obtener una primera aproximación de la cantidad de carbono presente al momento de hacer las mediciones (línea base). Para que estas fincas puedan aspirar a incorporarse al mercado de servicios ambientales faltaría generar más información, específicamente datos sobre el crecimiento de los árboles de sombra para estimar el flujo de carbono y consecuentemente, la capacidad de captura o secuestro anual. Es importante hacer notar que estos mercados no son una panacea y tienen varios problemas que hay que superar (Capítulo 21, Soto-Pinto *et al.* 2006).

Pago por servicios ambientales de captura y almacenamiento de carbono

La pregunta principal que se debe responder cuando se analiza el tema del pago por servicios ambientales es ¿cuánto se debe pagar para que los propietarios de las fincas tengan un incentivo suficiente para mantener la cobertura vegetal de sus fincas como reservorio de biodiversidad? Existen diversas formas de efectuar los análisis económicos pertinentes y aquí se citarán dos muy recientes y que parecen ser bastante aplicables al medio mexicano: Chomitz *et al.* (2007) mencionan que una tarifa aceptable para los países industriales que pagarían los bonos de carbono sería \$2.70 dólares por tonelada de carbono almacenada. Benítez-Ponce (2005) estimó que para fincas cafetaleras ubicadas en

el occidente de Ecuador, las cifras aceptables serían entre \$30 y 55 Dls/ha. Ávila *et al.* (2001) destacan que el pago de \$10 a \$13 Dls/ha por almacenamiento de carbono vigente en Costa Rica al momento del estudio son insuficientes para influir de manera decisiva en el manejo de la tierra. El criterio de Chomitz *et al.* (2007) basado en un monto por tonelada almacenada parece ser el más adecuado debido a la diferencia de biomasa existente en las fincas. De esa manera se tendría un aliante para conservar un mayor volumen de biomasa en las fincas. En el Cuadro 16.4 se presenta una propuesta para el pago de servicios ambientales por concepto de almacenamiento de carbono, en pesos mexicanos a precios de 2007. Para que estos planteamientos funcionen, es preciso que los cafetales se conviertan en verdaderos sistemas agroforestales donde se siembren especies de buena calidad de madera (Capítulo 17) que se puedan cosechar en 10 a 20 años y usar de tal manera que el C contenida en ella no se reintegre de inmediato a la atmósfera (muebles, pisos, vigas, etc.). Esta reconversión generaría una fuente adicional de ingreso para los cafeticultores (café + pago por secuestro de carbono + valor de la madera de buena calidad).

Con respecto al tipo de cultivo recomendado para fines de extracción de madera y de captura de carbono, se propone que sea del tipo “monocultivo de sombra” de preferencia, o bien, del denominado “policultivo sencillo”, donde sea posible aumentar la cantidad de sombra sin afectar la producción de café y por eso, recibir pagos para el aumento en la captura de carbono, con una variedad importante de especies nativas con madera de buena calidad e importante número de árboles (>100 individuos/ha). De esta manera, se tendrá disponible un recurso forestal importante para fines utilitarios de las fincas y al mismo tiempo, se contribuirá en un sentido positivo a abatir el problema ambiental más preocupante de nuestros tiempos que es el calentamiento global.

RECOMENDACIONES

Este tipo de trabajos se debe ampliar para incluir la información del crecimiento de los árboles para tener una idea de la dinámica y del flujo de carbono en estos ecosistemas, información que es indispensable para intentar ingresar a los mercados de servicios ambientales por secuestro de carbono. Los resultados de este estudio se pueden usar en los programas de servicios ambientales que promuevan las autoridades del ramo para resaltar el valor y la importancia técnica, ecológica y económica que representa la vegetación leñosa de los cafetales del centro de Veracruz. Aquí es importante destacar las posibles sinergias entre los programas de las dependencias mexicanas CONAFOR y SAGARPA que pueden promover sistemas de café agroforestales que puedan participar en los mercados que están siendo creados para el pago de secuestro de carbono (Salgado 2007, Ceballos 2007). Los montos pagados en México por servicios ambientales deberían incluir una cantidad que tome en cuenta la capacidad de almacenamiento de carbono para influir decisivamente en el uso de la tierra.

AGRADECIMIENTOS

Al grupo encabezado por la M. en C. Guadalupe Bárcenas Pazos por llevar a cabo la parte mayoritaria de la colecta de la biomasa aérea; a la M. en I. Reyna Paula Zárate Morales, quien nos proporcionó los datos dasométricos correspondientes a cada uno de los árboles estudiados, y algunos de los datos de densidad sin corteza de los árboles estudiados; a la Dra. Guadalupe Williams por facilitarnos los datos de la vegetación leñosa de las fincas y a los Dres. Ma. Luisa Martínez y Robert Manson, Investigadores del INECOL por sus valiosos comentarios, así

Cuadro 16.4. Propuesta para el pago de servicios ambientales por concepto de almacenamiento de carbono en fincas cafetaleras con árboles de sombra, en pesos mexicanos a precios de 2007. Véase el capítulo 2 para una descripción más detallada de las fincas de café clasificada en cada combinación de estructura y manejo de la finca.

Categoría	Carbono almacenado /ha Promedio (T/ha)	Pago sugerido por almacenamiento de carbono / ha (Pesos Mex / ha)	Pago redondeado (Pesos Mex / ha)
Rústicos	42,4	1259	1250
Policultivos	16,1	478	500
Monocultivos	4,5	134	150

como a la Dra. Lorena Soto-Pinto, Investigadora del ECOSUR.

REFERENCIAS

- Ávila G, Jiménez F, Beer J, Gómez M e Ibrahim M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Revista Agroforestería de las Américas* 8: 32-35.
- Benítez-Ponce PC. 2005. *Essays on the Economics of Forestry-Based Carbon Mitigation*, PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. 187 p.
- Brown S. 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer*. FAO Forestry Paper 134. Rome, Italy: 55 p.
- Brown S, Lugo AE. 1992. Aboveground biomass estimate for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17(1):8-18.
- Brown S, Gillespie AJR y Lugo AE. 1989. Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data. *Forest Science* 35(4): 881-902.
- Brown S, Sathaye J, Cannell M, Kauppi PE. 1996. Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management. *Commonwealth Forestry Review* 75(1): 80-91.
- Cannell MG. 1996. Forests as carbon sinks. Mitigating the Greenhouse effect. *Commonwealth Forestry Review* 75(1):92-99.
- Ceballos D. 2007. Los Tuxtlas, primer proyecto piloto formal para el mercado internacional de abonos de carbono. *Revista México Forestal*. <http://www.mexicoforestal.gob.mx/nota.php?id=432>
- Chomitz KM, Buys P, De Luca G, Thomas TS, Wertz-Kanounnikoff S. 2007. *At loggerheads?: agricultural expansion, poverty reduction, and environment in the tropical forests*. World Bank policy research report. The World Bank Publications. 284 p.
- Díaz-Franco R, Acosta-Mireles M, Carrillo-Anzures F, Buendía-Rodríguez E, Flores-Ayala E y Etchevers-Barr JD. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13(1):25-34
- Food and Agricultural Organization of the United Nations. 1981. *Tropical forest resources assessment project*. Tech. Rep. 1, 2, and 3. UN32/6.1301-78-04. Rome, Italy. 416 p.
- Gayoso J, Guerra J, Alarcón D. 2002. *Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas*. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 157 p.
- Hartemink AE. 2005. Plantation agriculture in the tropics - environmental issues. *Outlook on Agriculture* 34(1): 11-21
- IPCC. 1994. *The Supplementary Report to the IPPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge. 205 p.
- IPCC. 2000. *Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*. Informe especial del Grupo de trabajo III. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 29 p.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC WG1 AR4 Final Report. 996 p. <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>
- Masera, OR, M Bellon and G Segura. 1995. Forest Management Options for Sequestering Carbon in Mexico. *Biomass and Bioenergy* 8(5):357-367.
- Masera O, Bellon MR, Segura G. 1997. Forestry Options for Sequestering Carbon in Mexico: Comparative Economic Analysis of Three Case Studies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 27S:227-244.
- Masera O, De Jong B, Ricalde I y Ordóñez JA. 2000. *Consolidación de la oficina mexicana para la mitigación de gases de efecto invernadero*. Reporte Final. IdeE-UNAM. 168 p.
- Masera OR, Cerón AD, Ordóñez JA. 2001. Forestry Mitigation Options for Mexico: Finding Synergies between National Sustainable Development Priorities and Global Concerns. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 6:291-312.
- Méndez González J, Morales Carredano F, Ruiz García VJ, Nájera Luna JA, Graciano Luna JJ, Nívar JJ. 2002. Ecuaciones de biomasa para fuste de *Pinus cooperi* y *P. leiophylla* de la región del Salto, Durango. México. XV Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario, Campeche.
- Montes de Oca Cano EM, García Ramírez P. 2005. Flujos y asimilación de CO₂ en la regeneración natural de *Pinus durangensis* en la Región de El Salto, Durango. Tesis profesional. Instituto Tecnológico Forestal No. 1. El Salto Pueblo Nuevo, Durango, México. 79 p.
- Mutuo PK, Cadisch G, Albrecht A, Palm CA y Verchot L. 2005. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient cycling in agroecosystems* 71(1):43-54
- Nájera Luna JA. 1999. *Ecuaciones para estimar biomasa, volumen y crecimiento en biomasa y captura de carbono en diez especies típicas del matorral espinoso tamaulipeco del nordeste de México*. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. N.L. Mex.
- Nívar Cháidez JJ, González N y Graciano J. 2005. Carbon stocks and fluxes in reforested sites of Durango, Mexico *Madera y Bosques* 11(2):15-34
- Nelson KC, De Jong BHJ. 2003. Making global initiatives local realities: carbon mitigation projects in Chiapas, Mexico. *Global Environmental Change* 13:19-30.

- Oelbermann M, Voroney RP, Gordon AM. 2004. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. *Agriculture Ecosystems & Environment* 104(3): 359-377.
- Ordóñez JAB, De Jong BHJ, Masera O. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrubus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques* 7(2):27-48.
- Ortiz-Ceballos G. 2004. *El Agroecosistema Café: Crisis de mercado y sustentabilidad*. Tesis de Doctorado en Ciencias, Programa en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Posgraduados, Campus Veracruz. México. 125 p.
- Peeters LYK. 2001. *Coffee production, timber and firewood in traditional and Inga-shade plantations*. Tesis de Maestría en Ciencias. El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal Las Casas, Chiapas, México.
- Peeters LYK, Soto-Pinto L, Perales H, Montoya G e Ishiki M. 2003. Coffee production, timber and firewood in traditional and Inga-shade plantations in Southern Mexico. *Agriculture Ecosystems and Environment* 95:481-493
- Peña del Valle AE, Pérez Haro E, Pérez Samayoa I. 2006. Café sustentable y abonos de carbono. En: Pohlan J, Soto L, Barrera J, Editores. *El cafetal del futuro*. Shaker Verlag. Aachen, Alemania. p. 333-360.
- Pimienta de la Torre DJ, Domínguez Cabrera G, Aguirre Calderón O y Hernández FJ. 2007. Estimación de biomasa y contenido de carbono en *Pinus cooperi* Blanco en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 13(1):35-46.
- Pineda-López MR, Ortiz-Ceballos G, Sánchez-Velázquez LR. 2005. Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques* 11(2):3-14.
- Polzot CL. 2004. *Carbon storage in coffee agroecosystems of southern Costa Rica: Potential applications for the Clean Development Mechanism*. Thesis, Faculty of Environmental Studies, Master in Environmental Studies, York University, Toronto, Ontario, Canada. 149 p.
- Reyes G, Brown S, Chapman J, Lugo AE. 1992. *Wood densities of tropical tree species*. USDA Forest Service, General Technical Report SO-88, Southern Forest Experiment Station, New Orleans, Louisiana, USA.
- Salgado J. 2007. Promueven en México la creación de mercados de Pago por Servicios Ambientales. *Revista México Forestal*. <http://www.mexicoforestal.gob.mx/nota.php?id=434>
- Scherr SJ. 2002. *Capturing the Value of Forest Carbon for Local Livelihoods*. Presentation to Conference on "Payments for Environmental Services in China", Beijing, April 2002. 16 p.
- Schimel DS, House JI, Hibbard KA *et al.* 2001. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. *Nature* 414:169-172.
- Schlegel B. 2001. *Estimación de la biomasa y carbono en bosque del tipo forestal siempre verde. En el sur de Chile*. Simposio Internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile. p. 233-240.
- Schneider SH. 1989. The Greenhouse Effect: Science and Policy. *Science* 243(10):271-281.
- Segura M, Kanninen M, Suárez D. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforest Syst* (2006)68: 143-150.
- Soto-Pinto L, De Jong BHJ, Esquivel Bazán E, Quechulpa S. 2006. Potencial ecológico y económico de captura de carbono en cafetales. En: Pohlan J, Soto L, Barrera J, Editores. *El cafetal del futuro*. Shaker Verlag. Aachen, Alemania. p. 333-360.

Calidad de la madera de los árboles de sombra

GUADALUPE M. BÁRCENAS PAZOS Y VÍCTOR R. ORDÓÑEZ CANDELARIA

Resumen

Existen muchos trabajos que resaltan el papel de las fincas de café de sombra en la conservación de la biodiversidad, sin embargo, hay pocos estudios que buscan estrategias de manejo sustentables que ayuden a los productores a aprovechar estos tipos de agroecosistemas para aumentar sus fuentes de ingreso. En la actualidad existe un interés creciente en la explotación de la madera de los árboles en estas fincas y su manejo como sistemas agroforestales. Con el fin de evaluar esta posibilidad en el centro del estado de Veracruz, se seleccionaron seis especies de árboles en cuatro fincas, con base en su distribución, abundancia y potencial comercial. El estudio se restringió a las fincas denominadas policultivos tradicionales o comerciales, debido a que muchas de las “rústicas” optaron por la conservación de su estructura para alcanzar los mercados de café certificados. Se recolectaron 14 ejemplares (promedio de 2.3 individuos por especie) que incluyeron tres especies nativas *Quercus laurina* (encino rojo) y *Q. oleoides* (tezmole) y *Trema micrantha* (ixpepel), además de tres especies introducidas, *Acrocarpus fraxinifolius* (cedro rosado), *Melia azedarach* (piocho) y *Mimosa scabrella* (bracatinga). Se realizaron ensayos estandarizados, físicos, mecánicos y de maquinado para evaluar la calidad de la madera de las especies seleccionadas (normas ASTM). La calidad de la madera de ixpepel, bracatinga y piocho, resultó ser semejante, mientras que la de cedro rosado resultó ser la más ligera, siendo la de los encinos la más dura y resistente. Las especies no nativas se incluyeron por ser las de mayor importancia económica para los productores aunque hacen falta muchos estudios adicionales de la gran diversidad de árboles que se encuentran en las fincas de esta región.

Abstract

There are a considerable number of papers highlighting the role of coffee farms in biodiversity conservation, but few studies have sought to identify sustainable forms of management of these agroecosystems that may help growers develop alternative sources of income. In this regard, there is increasing interest in harvesting the wood of trees and thus treating coffee farms as agroforestry systems. To explore this possibility in central Veracruz, Mexico, a sample of six tree species were chosen from four coffee farms based on their distribution, wood density, and commercial potential. This study focused on farms characterized as traditional and commercial polycultures, since rustic management systems typically maintain the structure and biodiversity of their farms so that they qualify for markets of certified coffee. A total of 14 individuals (average of 2.3 individuals per species) of native *Quercus laurina* (red oak) and *Q. oleoides* (tezmole), and *Trema micrantha* (ixpepe), and non-native *Acrocarpus fraxinifolius* (cedro rosado) *Melia azedarach* (piocho), and *Mimosa scabrella* (bracatinga), were collected. Standardized tests of physical, mechanical and workability properties were performed to assess wood quality for each species (follow-

ing ASTM guidelines). The wood of ixpepel, bracatinga and piocho yielded similar results (intermediate values), whereas the wood of cedro rosado and the oaks exhibited the lowest and highest densities and strength, respectively. Introduced species were of particular interest for coffee planters as those have the most potential commercially although additional studies are needed to evaluate the tremendous diversity of tree species that characterize the coffee farms of this region.

INTRODUCCIÓN

La introducción del cultivo de café en México se inició en las zonas tropicales como un agrosistema múltiple, asociado generalmente a árboles nativos y con escasos manejo e insumos, así como con bajo rendimiento (Moguel y Toledo 1999). Actualmente sistemas parecidos a los originales son los rústicos o tradicionales, generalmente de extensión pequeña, mantienen la estructura arbórea diversa sustituyendo el estrato arbustivo con las plantas de café, Rice y Ward 1996, Moguel y Toledo 1999). Este tipo de cafetales constituye un sistema agroforestal, en donde el café se considera como un producto no maderable del bosque (Rice y Ward 1996, Moguel y Toledo 1999). Los cafetales rústicos con estructura diversa y estratificada son sistemas agroforestales con múltiples valores, en donde las especies arbóreas utilizadas como sombra son fuente de otros bienes como fijadoras de nitrógeno (leguminosas), fuente de alimento humano (frutas) y animal (forraje), soporte para otras especies vegetales comestibles, de usos medicinal o decorativos, madera aserrada para consumo propio o rolliza para cercas, combustible, además de madera aserrada que puede comercializarse cuando el rendimiento de la cosecha de café no es el mejor (Beer *et al.* 1998 y 2003, McDonald *et al.* 2003, Somarriba *et al.* 2001, Soto-Pinto *et al.* 2000, 2001 y 2007).

Este estudio parte de la idea de que la transformación de la cafecultura en México y en otras partes de América Latina en sistemas agroforestales, debe considerarse como una parte importante de las estrategias de producción para un desarrollo sostenible o como un sistema de uso sostenible del suelo (Beer *et al.* 2003, Eakin *et al.* 2006, Garrity 2004, Jende y Jurgen Pohlan 2006, Krishnamurthy y Ávila 1999, Scherr 2004). Esta perspectiva es cada vez más importante dados los cambios de manejo observados en las fincas de café en los últimos 20-30 años. Durante las décadas de los 60, 70 y 80 cuando, bajo el pretexto de la amenaza del hongo conocido como “roya del cafeto”, hubo un aumento en la tecnificación de este cultivo incluyen-

do el uso de más agroquímicos, la simplificación de la estructura vegetal y la siembra de árboles de *Inga* como sombra promovida por INMECAFE (Rice y Ward 1996, Peeters *et al.* 2003). Nestel (1995) estima que el 30% de los productores de café en México han cambiado el dosel de cultivos tradicionales a sombra monoespecífica. Estos cambios originaron que los productores tengan costos más altos y fijos además de menos fuentes de ingreso, lo cual los hace más susceptibles a las crisis causadas por las variaciones en el mercado internacional de los precios del café (Jiménez 2001, Rice 2003, Eakin *et al.* 2006).

Coelly y Fleming (2004) establecen que la diversificación de las actividades productivas en los sistemas agroforestales puede proporcionar beneficios sustanciales a los pequeños productores ante las variaciones del mercado que no pueden controlar. Algunos de los beneficios de la conservación de los árboles nativos como sombra en los cafetales son mantener la biodiversidad natural de las regiones, facilitar la disponibilidad de propágulos y la sucesión post abandono de las fincas por medio de rebrotes, germinación del banco de semillas y recolonización de las mismas fincas y de las cercanas, a través de la dispersión por animales. Otro beneficio de la incorporación de especies arbóreas nativas a la producción agrícola es incrementar la diversidad estructural y taxonómica, la eficiencia en la utilización de nutrientes, agua y luz (Beer *et al.* 1998, Soto-Pinto *et al.* 2000, 2001, y 2007, Jiménez-Ferrer 2000, Somarriba *et al.* 2001, Bandeira *et al.* 2005, Méndez *et al.* 2007). Además, el incremento y conservación de la diversidad de los sistemas agroforestales en el cultivo rústico del café en los últimos años ha empezado a representar un incentivo más para los pequeños productores como respaldo para la certificación del café de sombra amigable con la biodiversidad (Soto-Pinto 2001 y 2007, Bandeira *et al.* 2005, Potvin *et al.* 2005).

Entre los usos de las especies arbóreas utilizadas como sombra en las fincas cafetaleras, el maderable puede ser una buena opción para generar ingresos, cuando la producción de café no sea redituable o entre

cosechas (Beer 1998, Dzib Castillo 2003, Beer *et al.* 2003, Rojas *et al.* 2004, Scherr 2004, Jende y Jürgen Pohlen 2006). De las especies arbóreas nativas de las zonas cafetaleras de la región central del estado de Veracruz, se puede obtener madera de buena calidad para los mercados locales o regionales (por ejemplo, guanacastle, aguacate, liquidambar, ciprés, nogal, fresno, y encinos blancos y rojos) con características estéticas apreciadas para la fabricación de muebles y de resistencia media para su uso en la construcción. En los años recientes se han introducido especies de árboles no nativos con doble propósito (sombra y madera), por ejemplo: *Acrocarpus fraxinifolius*, *Mimosa scabrella* y *Melia azedarach* (Capítulo 4), que también resultan de interés económico para los productores que los han introducido. En los cafetales rústicos se encuentran, además de los árboles de sombra, árboles de servicio que son de usos múltiples, apreciados por los propietarios por su contribución a varios servicios ambientales (Soto-Pinto *et al.* 2000, 2006 y 2007, Beer *et al.* 2003, McDonald 2003, Rojas *et al.* 2004), incluyendo el almacenamiento de carbono (Capítulo 16).

Moguel y Toledo (1999) presentan un resumen del número de especies vegetales útiles en los sistemas agroforestales cafetaleros bajo sistemas de manejo tradicionales o rústicos en la zona centro del estado de Veracruz. Estudios realizados en un sistema agroforestal en Chiapas (Soto-Pinto 1999) registraron más de 60 especies leñosas en el estrato arbóreo, utilizadas principalmente para alimento (49.1%), leña (31.8%), y construcción rural (10.4%), pero también en la fabricación de artesanías, cercos vivos, usos domésticos, resinas, colorantes, condimentos, cercos muertos, ornamentales y medicinales. Otros estudios también han contribuido al entendimiento de la diversidad y estructura arbórea de diversos sistemas cafetaleros en varios estados de México (Jiménez y Gómez-Pompa 1982, Soto-Pinto *et al.* 2000, 2001 2007, Peeters *et al.* 2003, Villavicencio-Enríquez y Valdez 2003, Capítulo 4).

Existe poca información sobre la diversidad de la vegetación leñosa en el centro del estado de Veracruz y, aun menos, sobre la utilidad potencial de estas especies para los productores de café. En particular, los estudios realizados hasta la fecha han evaluado la calidad de la madera de sólo una pequeña fracción de las especies maderables utilizadas como sombra en los sistemas agroforestales cafetaleros de esta región (Carmona 1979, Córdoba 1985, Bárcenas y Ortega 1994,

Machuca 1995, Jende y Jürgen Pohlen 2006). Tampoco existe información relativa al aprovechamiento comercial potencial de estas especies. Urgen estudios que aporten información sobre el aprovechamiento de la madera de las especies arbóreas utilizadas como sombra, porque el conocimiento de sus características tecnológicas representaría una base tecnológica para un aprovechamiento más adecuado, hasta por los mismos dueños del recurso (Dzib Castillo 2003, Eakin *et al.* 2004, Garrity 2004, Scherr 2004).

Con base en lo anterior, los objetivos de este trabajo fueron determinar las propiedades tecnológicas de la madera de seis especies de árboles de varias fincas de café de sombra en el centro del estado de Veracruz para evaluar su calidad. Además de hacer una estimación de los volúmenes potenciales comercializables, de los precios de maderas en el mercado actual con características tecnológicas semejantes, lo cual permita una primera aproximación para los productores sobre el valor económico potencial que representa la utilización de la madera del estrato arbóreo de sus fincas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sitios de colecta

Para este estudio, se incluyeron las fincas cafetaleras del proyecto que mostraron un nivel intermedio de intensificación en términos de su estructura y manejo (Capítulo 2), debido a la disposición de los dueños de fincas rústicas para conservar sus árboles grandes, así como la biomasa leñosa muy limitada de fincas clasificadas como monocultivos. Dentro de este universo de fincas potenciales, se localizó a los dueños dispuestos a que se derribaran algunos de sus árboles para el estudio con ensayos destructivos. Con estos criterios se ubicaron cuatro fincas manejadas como policultivos donde fue posible realizar el estudio de calidad de madera, dos en la zona de Huatusco (MOR y VBM) y dos de la zona de Coatepec (ESM y PAM) (descripción detallada de estos sitios, Capítulos 1 y 2).

Selección y análisis de especies

Utilizando la base de datos del inventario de especies leñosas en el que se describe la estructura, riqueza e índice de importancia (Capítulo 4), se seleccionaron para cada finca los ejemplares que presentaban diámetros de al menos 20 cm y alturas totales de más de 6

m, límites mínimos establecidos para obtener madera aserrada de dimensiones comerciales. Se incluyeron únicamente las especies maderables, dejando fuera los árboles frutales y los ejemplares de *Inga* spp. Con las especies así seleccionadas de la base de datos, se elaboró una lista con aquellas que se registraron en el mayor número de fincas.

Se hicieron recorridos en las fincas seleccionadas para identificar ejemplares representativos de las especies de la lista, para el estudio de la calidad de su madera. Otro criterio de selección para los ejemplares a derribar fue que debían estar fuera del área de los puntos permanentes de muestreo establecidos para el estudio de los demás organismos (Capítulo 1), con el fin de no causar disturbios al monitoreo biológico realizado simultáneamente en todas las fincas del proyecto. Se buscaron individuos con DAP de al menos 25 cm, con fuste recto y que crecieran en sitios con pendientes no mayores a 15%. De la primera selección, se solicitó permiso a los propietarios, algunos de los cuales, optaron por los árboles de servicio, es decir mantenerlos en pie para obtener beneficios no maderables, por lo que se buscaron ejemplares en las fincas en las que los dueños estuvieran de acuerdo en ceder su árboles. Finalmente se seleccionaron árboles de tres especies nativas (*Quercus laurina*, *Q. oleoides* y *Trema micrantha*) y tres especies introducidas con el doble propósito de sombra y madera (*Acrocarpus fraxinifolius*, *Melia azedarach* y *Mimosa scabrella*) en cuatro fincas caracterizadas como fincas rústicas o policultivos.

Para determinar la calidad de la madera se realizaron ensayos físicos (secado, contracciones y defectos durante el secado), mecánicos (resistencia a flexión, compresión, dureza, cortante e impacto) y de maquinado (respuestas de la madera a los procesos de transformación como cepillado, taladrado, escopleado y moldurado). Los datos obtenidos durante los ensayos físicos proporcionan información útil para obtener material con poco desperdicio ocasionado por malas prácticas durante el secado de la madera después de su derribo. Con los ensayos mecánicos se obtienen los valores de resistencia de las maderas para su utilización en la construcción, muebles, u otros bienes en que sea sometida a esfuerzos o acciones de carga (Bárcenas 1995). Los ensayos de maquinado brindan información sobre el comportamiento de las maderas ante diferentes procesos de transformación, importantes para la fabricación de muebles de alta calidad (Martínez J y Martínez E 1996, Martínez P y Martínez C 1996).

Se recolectaron entre dos y cuatro árboles de cada especie para obtener material suficiente para realizar entre 12 y 16 ensayos por árbol por tipo de ensayos mecánicos (variable que rige el tamaño de la muestra). Con este tamaño de muestra se obtiene un valor promedio con límite de confianza de 90%. El fuste de cada árbol fue seccionado en trozas de 120 cm de longitud, obteniéndose entre tres y siete trozas, dependiendo de la altura del árbol. Mediante un sorteo aleatorio se seleccionaron cuatro trozas para la obtención de los especímenes de ensayo.

De cada troza se seleccionaron y elaboraron los especímenes de prueba, según lo establecido por las normas internacionales ASTM, D-143-2000 (ASTM 2005) para pruebas físicas y mecánicas, y la norma D 1666-2004 (ASTM 2005) para los ensayos de maquinado (cepillado, moldurado, taladrado y escopleado). Una descripción detallada de los ensayos se describe en Bárcenas (1995) y Martínez P y Martínez C (1996). Para cada propiedad se obtuvieron los estadísticos básicos.

Para el objetivo de este libro los resultados están presentados en forma cualitativa, con excepción de la densidad relativa (PA/VV), de acuerdo con los criterios de clasificación para maderas mexicanas con base en su densidad relativa (Bárcenas 1995, Dávalos y Bárcenas 1998 y 1999, Martínez P y Martínez C 1996).

Los resultados de los ensayos se compararon con datos de la madera de cedro y pino (*Cedrela odorata* y *de Pinus* spp.; Bárcenas 1995, Martínez J y Martínez E 1996, Martínez P y Martínez C 1996), especies comúnmente usadas en el mercado nacional, para tener una referencia de la calidad y el valor económico potencial de la madera de las seis especies aquí estudiadas.

Finalmente, con los datos de área basal por hectárea de las especies presentes en las fincas con tipo de cultivo rústico o policultivo (Capítulos 2 y 4), se estimó el volumen aprovechable por finca, usando criterios establecidos para el volumen aprovechable de madera a partir de árboles en pie: 0.7 por ahusamiento, 0.39 razón altura comercializable/altura total y 0.9 de volumen aprovechable por aserrado y corteza. Con los datos estimados de volumen y los precios actuales en madererías de la ciudad de Xalapa, de maderas de la región, se estimó cuál sería el beneficio económico potencial de madera aserrada para los productores al aprovechar sus árboles, proyectando cómo cambiaría su ingreso conforme cambie el manejo de estos sistemas agroforestales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 17.1 se presenta la relación de las especies maderables por finca y tipo de manejo obtenidos de los datos de frecuencia en los sitios de muestreo. La mayor diversidad y frecuencia se registró en las fincas con los tipos de estructura de policultivo y rústico. Las especies introducidas son abundantes a pesar de que no se consideraron los individuos con diámetros menores de 20 cm, los cuales representan un potencial significativo para la producción de madera. Tampoco se consideraron las especies frutales o melíferas, porque sus diámetros, salvo casos excepcionales, no llegaban al límite inferior para ser considerados maderables. Otro caso especial es el de *Erythrina*, que a pesar de no llegar a ser árboles robustos su madera es apreciada para la elaboración de artesanías. En el inventario de especies

leñosas también se registraron abundantes árboles de *Cedrela odorata*, *Persea* spp. y *Grevillea robusta* con diámetros pequeños, pero que pueden ser sujetos de manejo para su aprovechamiento maderable en unos años más. En el Cuadro 17.2 se relacionan los ejemplares recolectados de las seis especies, con características morfológicas y los sitios en que se derribaron.

Descripción de las especies seleccionadas

Acrocarpus fraxinifolius Wight et Arn. Nombres comunes: cedro rojo, cedro rosado; cedro tuxtleco. Especie originaria del sureste de Asia, introducida en México en los estados de Quintana Roo, Chiapas, Campeche, Oaxaca y Puebla. Es un árbol de rápido crecimiento inicial, llega a alcanzar alturas de 25 m a 30 m, con diámetros de 0.90 a 2.4 m. Crece en latitudes de 600

Cuadro 17.1. Frecuencia (# de individuos) de las especies maderables (DAP > 20 cm y altura > 6 m) más abundantes presentes por finca y tipo de manejo de la región Coatepec-Huatusco, Veracruz. Datos extraídos del inventario de especies leñosas (Capítulo 4). Sólo se incluyeron árboles frutales cuya madera es aprovechada. El Capítulo 2 describe con más detalle la estructura vegetal y manejo de cada finca.

	POLICULTIVO								RÚSTICO					MONO CULTIVO	
	ALU	PAN	AUR	MOR	AXO	ESM	VCS	ARM	ORD	MIR	ZOP	ONZ	VBM	MAR	VSE
<i>Trema micrantha</i>	-	2	49	33	3	10	7	1	2	8	7	16	5	1	1
<i>Mimosa scabrella</i>	-	-	-	-	-	136	-	-	-	-	-	8	-	-	-
<i>Heliocarpus donnell-smithii</i>	36	14	-	-	5	1	-	8	2	2	2	11	-	-	1
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	2	-	-	-	-	-	-	33	7	-	34	3	-	1	-
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	-	-	-	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Erythrina poeppigiana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47
<i>Alchornea latifolia</i>	-	5	13	-	-	4	-	-	7	5	1	6	2	3	-
<i>Quercus</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	-	-
<i>Cedrela odorata</i>	11	-	-	18	-	-	-	-	-	1	1	2	2	1	1
<i>Quercus sartorii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	-	-	9	-	-
<i>Zinowiewia integerrima</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	22	-	-
<i>Persea schiedeana</i>	11	2	13	-	-	2	-	-	-	1	-	2	-	-	-
<i>Lonchocarpus guatemalensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	14	10	-	1	-	-	-	-
<i>Psidium guajava</i>	3	12	-	-	-	-	-	1	-	-	1	6	-	-	-
<i>Melia azedarach</i>	-	6	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Swietenia macrophylla</i>	13	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Tapirira mexicana</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	13	-	-	-	-	-
<i>Cecropia obtusifolia</i>	-	2	3	-	-	-	-	-	-	-	2	4	2	-	-
<i>Erythrina americana</i>	11	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
<i>Oreopanax liebmannii</i>	-	4	-	-	-	-	-	7	2	-	-	-	-	-	-
<i>Vismia mexicana</i>	-	7	-	2	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-	-
<i>Croton draco</i>	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Cuadro 17.2. Seis especies de árboles evaluados por su potencial comercial colectadas en cuatro fincas de café en el centro del estado de Veracruz. Véase el texto para una explicación de los criterios de selección usados en este análisis.

Especie	Nombre común	Árboles recolectados	Sitio	Altura total (m)	DAP (cm)
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	Cedro rosado	2	MOR	20.5	30.2
				22.5	28.6
<i>Melia azedarach</i>	Piocho	2	PAM	19	50.6
				20	48.7
<i>Mimosa scabrella</i>	Bracatinga	2	ESM	12	26.0
				12	25.5
<i>Quercus laurina</i>	Encino rojo	2	VBM	18.5	50.6
				20.3	43.6
<i>Quercus oleoides</i>	Tezmole	2		21	51.8
				18	48.0
<i>Trema micrantha</i>	Ixpepel	4	ESM	18.5	44
				20	67.5
			MOR	18.3	42.9
				16.7	40.4

a 1500 msnm. Se cultiva en algunas regiones tropicales de México para obtener la madera, es utilizada para la fabricación de muebles y para construcciones rurales. En condiciones favorables de luz, esta especie se ha usado como sombra para plantaciones de té y café porque enriquece las plantaciones (SIREa).

Melia azedarach L. (Sin. *Melia sempervirens* Sw., *Melia japonica* Don.). Nombre común: paraíso (San Luis Potosí, Veracruz, Oaxaca, Yucatán, Michoacán); piocha (Veracruz y Oaxaca); lila, canelo. Especie originaria del sur y del este de Asia, introducida y cultivada en algunas regiones tropicales y subtropicales de México. Se ha plantado en Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí, Veracruz, Oaxaca, Michoacán y Yucatán. Crece en latitudes de 0 a 2200 msnm. Se han encontrado árboles hasta de 18 m, pero comúnmente son de alrededor de 10 m, con diámetros hasta de 40 cm. Se utiliza como planta de sombra y ornato en parques y jardines por la belleza de sus flores de color malva y por sus frutos amarillos muy decorativos. La madera se usa localmente para leña, mangos para herramientas e implementos agrícolas, muebles y gabinetes, instrumentos musicales, artículos torneados, ebanistería, juguetes y fabricación de papel para imprenta y para la fabricación de tableros de fibra. Los frutos, flores, hojas y corteza poseen propiedades insecticidas por la presencia de dos alcaloides, paraisina y azadiractina; productos que se utilizan para el control de plagas en

los granos almacenados. Los animales que ingieren algunos frutos pueden morir en un lapso de 24 horas (SIREb).

Mimosa scabrella Benth (Sin. *Mimosa bracatinga* Hoehne). Nombre común: bracatinga. Especie nativa de Brasil e introducida en México a partir de la década de los 90 como sombra de cafetales en los estados de Puebla y Veracruz. Es un árbol de rápido crecimiento con una altura de 12 m a 20 m y llega a alcanzar diámetros de 40 cm a 50 cm. Su ciclo de vida es de 10 a 20 años. Crece en altitudes de 500 a 1500 msnm. De acuerdo con la base de datos de CONABIO para especies propuestas para plantaciones, se ha usado para la producción de alcohol y carbón vegetal, aunque su uso más común es como leña, ya que no produce humo, olores o chispas y se puede almacenar y rajar con facilidad. La madera es moderadamente pesada. También se ha usado para la construcción, fabricación de muebles torneados, laminados, madera dimensionada y como postes para cercas. El árbol se usa como especie ornamental, sombra de cafetales o asociada, durante el primer año, con maíz o frijol. En Brasil se usa como sombra para la ganadería, como forraje en la época seca. Presenta características favorables para ser plantada en estratos intermedios en cortinas rompivientos. Es fijadora de nitrógeno, deposita grandes cantidades de materia orgánica al suelo mediante la caída de las hojas (SIREc).

Trema micrantha (L.) Blume (Sin. *Celtis canescens* Decne.; *Celtis canescens* Kunth; *Celtis lima* Sw.; *Celtis macrophylla* Kunth; *Celtis micranthus* (L.) Sw.; *Celtis schiedeana* Schlecht.; *Rhamnus micranthus* L.; *Rhamnus rugosa* Willd.; *Sponia canescens* (Kunth) Decne.; *Sponia crassifolia* Liebm.; *Sponia chichilea* Planch.; *Sponia grisea* Liebm.; *Sponia macrophylla* (Kunth) Decne.; *Sponia micrantha* (L.) Decne.; *Sponia peruwiana* Klotzsch; *Sponia schiedeana* (Schlecht.) Planch.; *Trema canescens* (Kunth) Blume; *Trema chichilea* Planch.) Blume; *Trema floridana* Britton ex Small; *Trema melinona* Blume; *Trema micrantha* var. *Floridana* (Britton ex Small) Stand. & Steyerl.). Nombres comunes: capul, capulín, capulín cimarrón, pellejo de vieja, colorada (Chiapas); checaít, guacimilla, ixpepe (Veracruz); equipal (Michoacán); pie de paloma, yaco de cuero (Oaxaca); puam (San Luis Potosí). Especie nativa de México, se distribuye en la vertiente del Golfo, se presenta desde el Sur de Tamaulipas hasta Yucatán y Quintana Roo y, en la vertiente del Pacífico, desde Sonora y Sinaloa hasta Chiapas. Es particularmente abundante a lo largo de las planicies costeras del golfo de México. Crece en altitudes de 0 a 1500 msnm. Es una especie secundaria, pionera de acahuales y sitios perturbados. No es común encontrarla en el bosque maduro. Es un árbol perennifolio de 5 a 13 m (hasta 30 m) de altura con un diámetro a la altura del pecho de 6 a 20 cm (hasta 70 cm). Se ha registrado su valor potencial como especie mejoradora de áreas desforestadas por su rápido crecimiento, también se ha resaltado su aportación al mejoramiento del hábitat para las aves nativas y migratorias. Su madera se usa para fabricar sillas y para la elaboración de pulpa para papel. También se usa como leña y para elaborar carbón; en la construcción y como postes; su corteza se usa para artesanías como tipo de papel amate; con sus fibras se hacen sogas y cordeles. Su follaje se usa como forraje. Sus hojas y corteza también tienen usos medicinales (Anónimo sf).

Quercus laurina Humb. et Bonpl. (Sin.: *Quercus barbinervis* Benth., *Quercus bourgaei* Trel., *Quercus caerulocarpa* Trel., *Quercus chrysophylla* Humb. & Bonpl., *Quercus itens* var. *major* A. DC., *Quercus lanceolata* Humb. & Bonpl., *Quercus major* (A. DC.) Trel., *Quercus ocotedefolia* Liebm., *Quercus roseovenulosa* Trel., *Quercus tlapuxahuensis* A. DC., *Quercus treleaseana* Camus, *Quercus tridens* Humb. & Bonpl.). Nombres comunes: encino rojo, encino blanco, encino chilillo, encino colorado, encino laurelillo, encino prieto, encino uricua. Es árbol de 10 a 40 m de altura y de lento crecimiento, con diámetro entre 15

y 100 cm. Crece a alturas entre 1000 y 3200 msnm. Nativa de México, se distribuye en los estados de Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tlaxcala y Veracruz. Su madera se usa para fabricar mangos, cabos de herramienta, postes para cerca, como combustible, leña y carbón (PROCYMAF).

Quercus oleoides Schltdl. & Cham. Nombres comunes: encino, encino prieto, roble, roble blanco, tesmol, tesmoles, yagsuy. Especie nativa de México, se distribuye a lo largo de la vertiente del Golfo de México, desde Tamaulipas hasta Chiapas. Es un árbol de lento crecimiento que llega a alcanzar alturas entre 8 y 15 m, con DAP hasta de 60 cm. Crece a altitudes entre 0 y 1300 msnm, de los encinos es el que crece a menores alturas sobre el nivel del mar. Su madera es extremadamente pesada, se usa para durmientes, puentes, postes de cerca, tonelería, pilotes para minas, implementos agrícolas y para elaborar carbón (Fournier 2003).

Características físicas, mecánicas y de maquinado de la madera

La madera de las tres especies introducidas (*A. fraxinifolius*, *Melia azedarach* y *Mimosa scabrella*) presentó características semejantes, siendo madera blanda, de densidad baja (de color claro, con resistencia baja a media, semejante a la madera de pino (Cuadro 17.3), con contracciones medias y velocidad media de secado, entre 60 y 90 días al aire libre (22 grados centígrados y 70% humedad relativa), fácil de aserrarse y trabajarse, con acabados en los procesos de transformación de no muy buena calidad. Por ser maderas de muy rápido crecimiento presentan anillos anuales muy separados (2 a 3.5 mm), índice de maderas muy ligeras. Entre las maderas nativas, *Trema micrantha* presentó características semejantes a la de las especies introducidas.

En contraste, la madera de los encinos presentó valores de densidad muy altas, madera muy pesada, con resistencia mecánica muy alta, pero también con valores de contracción muy altos, secado muy lento más de 120 días. Presenta anillos numerosos (> 5/50 mm), índice de maderas densas. Necesita ser maquinada muy lentamente y se obtienen superficies de alta calidad en su acabado (Cuadro 17.3).

En comparación con las maderas de cedro y de pino, la densidad de las maderas no nativas es más cercana a la del pino. Su comportamiento durante el

Cuadro 17.3. Características tecnológicas de las maderas en condición seca de seis especies maderables colectadas de fincas cafetaleras de la región centro del estado de Veracruz. Además, se agregaron datos de *Cedrela odorata* y *Pinus* spp. como punto de comparación, por ser especies con un buen mercado nacional debido a las características de su madera.

Especie	Propiedades físicas					Maquinado o trabajabilidad				
	Densidad relativa (pa/vv)	Secado			Resistencia mecánica	Aserrado	Barrenado	Escopleado	Moldurado	Cepillado
		Velocidad	Distorsiones	Contracciones						
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	0,450									
Cedro rosado	Moderad. ligera	Muy rápido	Ligeras	Bajas	Muy baja	Moderad. fácil	Muy pobre	Excelente	Bueno	Excelente
<i>Melia azederach</i>	0,450									
Piocho	Moderad. ligera	Muy rápido	Severas	Moderadas	Baja	Moderad.fácil	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
<i>Mimosa scabrella</i>	0,456									
Bracatinga	Moderad.ligera	Rápido	Severas	Moderadas	Baja	Fácil	Muy pobre	Excelente	Muy pobre	Muy pobre
<i>Quercus laurina</i>	0,701									
Encino rojo	Pesada	Lento	Moderadas	Moderad. altas	Mod. resistente	Difícil	Regular	Excelente	Excelente	Muy pobre
<i>Quercus oleoides</i>	0,850									
Tezmole	Muy pesada	Lento	Severas	Altas	Mod. resistente	Difícil	Excelente	Excelente	Regular	Excelente
<i>Trema micrantha</i>	0,425									
Ixpepel	Moderad. ligera	Muy rápido	Severas	Moderadas	Baja	Moderad.fácil	Muy pobre	Bueno	Bueno	Regular
<i>Cedrela odorata</i>	0,36									
cedro	Ligera	Moderad. lento	Muy ligeras	Bajas	Baja	Mod. fácil	Bueno	Regular	Bueno	Excelente
<i>Pinus</i> spp	0,51									
Pino	media	Rápido	Ligera	Moderadas	Media	Fácil	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente

PA/VV = peso anhidro/volumen verde

secado es variable entre estas especies. Reiterando que, únicamente se presentan calificaciones de las propiedades, no es la intención presentar en este capítulo los análisis estadísticos de los resultados. La resistencia mecánica de *A. fraxinifolius*, *M. azedarach* y *Mimosa scabrella* es baja en comparación con la del pino y semejante a la del cedro. Sus características de maquinado son variables, no presentando un comportamiento similar a cualquiera de las dos maderas de referencia. La madera de *T. micrantha* es más semejante a la del cedro. Según este análisis cualitativo, la madera de las cuatro especies estudiadas, por sus características (color claro de su madera, su ligereza además que no se deforman durante el secado) pueden ser aptas para fabricar muebles, cajas de embalaje o decorativas y artesanías; también pueden utilizarse como rollizos para elementos constructivos o postes para cercas. En contraste, las características de las maderas de los encinos son muy diferentes a las de pino o cedro. La madera de los encinos tiene usos bien reconocidos por su resistencia, dureza y durabilidad natural. Es recomendable para pisos, postes, tonelería y muebles de alta calidad.

En el cuadro 17.4 se presentan los volúmenes estimados de madera potencialmente aprovechable en cada finca que se caracterizó como rústico o policultivo (Capítulo 2). Del monitoreo de los precios, en madererías de la ciudad de Xalapa, de madera aserrada y seca por pie tabla (pt, medida comercial de 30 × 30 cm de lado por 2.54 cm de grosor), la madera

de pino se vende a \$13.00; la de aguacate a \$19.50; la de guanacaste a \$22.00 y la de cedro a \$28.00. De un metro cúbico en rollo de madera se obtienen aproximadamente 438 pies tabla. De manera burda se puede estimar que el precio final de un metro cúbico de madera aserrada de cualquiera de las maderas de baja densidad comercializada en una maderería en Xalapa sería entre \$ 8,451.00 y \$ 12,264.00.

La madera de las especies introducidas no es comercializada todavía, sin embargo ya hay productores que están realizando las primeras cortas de una plantación de 7 años de *A. fraxinifolius*, vendiendo la madera en rollo en su propia finca a razón de \$600.00 por metro cúbico (F. Bobadilla Com. Pers.). Sin embargo, es necesario remarcar que siempre habrá un ingreso mayor si la madera se vende aserrada y seca, que si se vende a pie de monte o el árbol en pie. También hay que considerar los costos de procesamiento y transporte para obtener el valor neto potencial para los dueños de las fincas. Asimismo, con respecto a los valores reportados en el Cuadro 17.4, es recomendable que se coseche la madera, que actualmente está presente en las fincas, de manera sustentable, es decir, a una tasa que sea posible reemplazar a través de los procesos naturales de regeneración de estas especies de árboles y también de una manera que no afecte la producción del café (por ejemplo, parece que la producción de café aumenta con más sombra hasta una densidad de 45% aproximadamente; Soto-Pinto *et al.* 2000).

Cuadro 17.4. Volumen potencialmente aprovechable de las especies arbóreas de las fincas con manejo rústico o policultivo. Véase el Capítulo 4 para más información sobre la clasificación de la estructura vegetal de estas fincas.

Finca	Clasificación	Volumen estimado madera (m ³ /ha)
ESM	Policultivo	22.79
ORD	Rústico	29.54
AXO	Policultivo	1.51
ZOP	Rústico	67.34
MOR	Policultivo	14.21
ARM	Policultivo	82.74
ONZ	Rústico	21.26
ALU	Policultivo	9.89
PAN	Policultivo	15.26
AUR	Policultivo	44.79
VBM	Rústico	67.51
MIR	Rústico	63.18

RECOMENDACIONES

- Tomando como base la riqueza florística de las especies maderables presentes en las fincas con sistemas rústicos y de policultivo, sería recomendable, además de la conservación de la biodiversidad, incrementar la diversificación de su uso y aprovechamiento, sobre todo promoviendo el cultivo y manejo de especies con potencial maderable de alta calidad, que actualmente crecen en las fincas, p. ej. cedro, aguacate, guanacaste, grevilea y varias más. Cuando sea posible promover el uso de especies nativas.
- Para los productores de café existe un amplio abanico de posibilidades de aprovechamiento de las especies maderables en sus fincas incluyendo el aprovechamiento, únicamente, de la madera que resulta de podas o árboles caídos cuando no existe el propósito de cambiar la estructura vegetal de una finca. Por otro lado, el manejo silvícola o “agroforestal” de estas especies para madera serviría a los productores para hacer una inversión a 10 o 15 años. Existe un gran número de árboles de estas especies con diámetros de menos de 20 cm, cuyo aprovechamiento puede ser escalonado. Para este mismo fin es necesario llevar a cabo estudios de dasonometría que permitan establecer las tasas de crecimiento, además de evaluaciones no destructivas de la calidad de la madera en diferentes periodos de crecimiento. Dado el hecho de que este tipo de manejo agroforestal implica cambios radicales en las especies de sombra utilizadas en la finca, es quizás más factible en fincas caracterizadas como policultivos o monocultivos de sombra (Capítulo 2).
- Promover más estudios para conocer las tasas de crecimiento por especie y por tipo de manejo en las fincas, lo cual permitirá establecer las bases para el aprovechamiento de los árboles con potencial maderable, además de establecer los planes de manejo para replantar las mismas especies o con una selección de maderas más adecuada, ecológicamente, o con mejor tasa de retorno económico. Para este proceso se pueden tomar como base las recomendaciones de Benítez *et al.* (2004).
- Otro enfoque de retorno económico es el manejo o la selección de las especies arbóreas para prestar servicios ambientales como el almacenamiento de carbono, incremento en la biodiversidad,

árboles amigables a la fauna, árboles melíferos, proveedores de biomasa para enriquecimiento del suelo o los que resulten de interés específico para los productores.

- Es necesario hacer un inventario sobre los usos actuales de las especies arbóreas usadas en fincas de café en el centro de Veracruz como fuentes de leña, frutos, cercos, usos domésticos, construcción, u otros que puedan prestar como servicios ambientales. Esta información sería muy útil para ayudar a los productores a bajar sus costos de producción, aumentar sus fuentes de ingreso y promover estrategias de manejo más sustentables del café en la zona centro del estado de Veracruz.

AGRADECIMIENTOS

La selección, recolecta del material y realización de ensayos fue realizada por la M. en I. Reyna Paula Zárate Morales y los Ings. José Luis Castillo Martínez e Ignacio Salomón Quintana, Técnicos académicos de la Unidad de Recursos Forestales del INECOL. A los dueños de las fincas quienes apoyaron entusiastamente este trabajo donando sus árboles, permitiendo su derribo e incluso ayudando físicamente a los trabajos de derribo: Ing. Sergio De la Vequia Bernardi, Sr. Sergio Morales Ixtla, Quím. Ma. del Refugio López Cruz e Ing. Armado Contreras Administrador de La Esmeralda. A los Dres. Robert Manson y Raymundo Dávalos S., Investigadores del INECOL por sus aportaciones para la mejora de este capítulo, así como a la Dra. Lorena Soto-Pinto, Investigadora del ECOSUR, como revisora externa.

REFERENCIAS

- Anónimo S/F. *Trema micrantha*. S/f. *Museum Botanicum* 2(58):259-262.
- ASTM 2005. Standard Test Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood-Base Materials Designation: D 1666-87 (Reapproved 2004).
- ASTM 2005. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber Designation: D 143-94 (Reapproved 2000).
- Bandeira FP, Martorell C, Meave JA, Caballero J. 2005. The role of rustic coffee plantations in the conservation of wild tree diversity in the Chinantec region of Mexico. *Biodiversity and Conservation* 14:1225–1240.

- Bárceñas GM. 1995. Caracterización tecnológica de veinte especies maderables. *Madera y Bosques* 1(1):9-38.
- Bárceñas GM, Ortega EF. 1994. Fichas tecnológicas de cuatro especies de madera del bosque mesófilo de montaña. *Revista Forestal Latino Americana* 13(93): 39-71.
- Beer J, Muschler R, Kass D, Somarriba E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38(1-3):139-164.
- Beer J, Ibrahim M, Somarriba E, Barrance A, Leakey R. 2003. Establecimiento y manejo de árboles en sistemas agroforestales. En: Cordero J, Boshier DH (Editores). *Árboles de Centroamérica*. OFI/CATIE. p. 197-242.
- Benítez G, Pulido MTP, Equihua M. 2004. Árboles multiusos nativos de Veracruz para reforestación, restauración y plantaciones. Instituto de Ecología, A.C., SIGOLFO, y CONAFOR, Xalapa, Veracruz, México. 288 p.
- Carmona TF. 1979. *Características histológicas de la madera de cuatro especies del bosque caducifolio de México*. Tesis Lic. Fac. de Ciencias. UNAM. México, D.F. 169 p.
- Coelly T, Fleming E. 2004. Diversification economies and specialisation efficiencies in a mixed food and coffee smallholder farming system in Papua New Guinea. *Agricultural Economics* 31:229-239
- Córdoba C. 1985. *Uso tradicional de la madera en la región de Cosautlán de Carvajal, Ver.* Tesis Lic. Fac. de biología. UV. Xalapa, Ver. 133 p.
- Dávalos R, Bárceñas G. 1998. Clasificación de las propiedades mecánicas de maderas en condición «verde». *Madera y Bosques* 4(1):65-70.
- Dávalos R, Bárceñas G. 1999. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición seca. *Madera y Bosques* 5(1):61-69.
- Dzib Castillo BB. 2003. Manejo, almacenamiento de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica. Tesis Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Programa de Enseñanza para el Desarrollo y la Conservación. Escuela de Posgrado. Turrialba, Costa Rica. 124 p.
- Eakin H, Tucker C, Castellanos E. 2006. Responding to the coffee crisis: a pilot study of farmers' adaptations in Mexico, Guatemala and Honduras. *The Geographical Journal*. 172: 156-171.
- Ferguson BG, Griffith DM. 2004. Tecnología agrícola y conservación biológica en El Petén, Guatemala. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 72:72-85.
- Fournier LA. 2003. *Quercus oleoides*. Schltdl. & Cham. Species descriptions. Árboles en sistemas agroforestales. En: Cordero J, Boshier DH (Editores). *Árboles de Centroamérica*. OFI/CATIE. p. 683-684. Consultado 07 de junio de 2006.
- Garrity DP. 2004. Agroforestry and the achievement of the millennium development goals. *Agroforestry Systems* 61(1):5-17. <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art18/>.
- Jende O, Jurgen Pohlen HA. 2006. Reforestación y reforestación en cafetales. En: Jurgen Pohlen HA, Soto-Pinto L y Barrera J, editores. *El cafetal del futuro. Realidad y visiones*. Shaker Verlag. p 279-298.
- Jiménez SI. 2001. Golpea en Veracruz crisis del café. Periódico Reforma. www.reforma.com/nacional/articulo/138426/.
- Jiménez-Ávila E, Gómez-Pompa A, editores. 1982. Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero. Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Ver., México. 143 p.
- Jiménez-Ferrer G. 2000. Árboles y arbustos con potencial forrajero en el norte de Chiapas, México. Tesis Doctorado, Univ. Autónoma de Yucatán. 256 p.
- Krishnamurthy Lavila M. 1994. Agroforestería Básica. Textos básicos para la formación ambiental 3. PNUMA. México, D.F. 340 p.
- Machuca R. 1995. Estudio tecnológico de la madera de *Quercus insignis* de Huatusco, Veracruz, México. Tesis Lic. Div. Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de Méx. 144 p.
- Martínez CJL, Martínez PE. 1996 Características de maquinado de 33 especies de madera. *Madera y Bosques* 2(1):45-61.
- Martínez PC E y Martínez C JL. 1996 Características de cepillado y lijado de 33 especies de madera. *Madera y Bosques* 2(2):11-27.
- McDonald MA, Hofny-Collins A, Healey JR, Goodland TCR. 2003. Evaluation of trees indigenous to the montane forest of the Blue Mountains, Jamaica for reforestation and agroforestry. *Forest Ecology and Management* 175(1-3):379-401.
- Méndez VE, Gliessman SR, Gilbert GS. 2007. Tree biodiversity in farmer cooperatives of a shade coffee landscape in western El Salvador. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 119(1-2):145-159.
- Moguel P, Toledo VM. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13(1):11-21.
- Nestel D. 1995. Coffee and Mexico: International market, agricultural landscape, and ecology. *Ecological Economics* 15:165-179.
- Peeters LYK, Soto-Pinto L, Perales H, Montoya G, Ishiki M. 2003. Coffee production, timber, and firewood in traditional Inga-shaded plantations in Southern Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 95:481-493.
- Potvin C, Owen CT, Melzi S, Beaucage P. 2005. Biodiversity and Modernization in Four Coffee-producing Villages of Mexico. *Ecology and Society* 10(1):18.
- PROCYMAF. S/f. *Quercus laurina* Humb et Bonpl. Especies con usos no maderables en bosques de encino, pino y

- pino-encino en los estados de Chihuahua, Durango, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. SEMARNAP. Consultado 12 de junio de 2006.
- Rice RA, Ward JR. 1996. *Coffee, Conservation, and Commerce in the Western Hemisphere*. Un reporte en conjunto del Smithsonian Migratory Bird Center y el Natural Resources Defense Council, Washington, DC.
- Rice R. 2003. Coffee production in a time of crisis: social and environmental connection. *SAIS Review* 23(1): 221-245.
- Rojas F, Canessa R, Ramírez J. 2004. *Incorporación de árboles y arbustos en los cafetales del valle central de Costa Rica*. ICAFE/ITCR. 151 p.
- Scherr SJ. 2004. Building opportunities for small-farm agroforestry to supply domestic wood markets in developing countries. *Agroforestry Systems* 61(1): 357-370.
- Sistema de Información para la Reforestación (SIRE) a. S/f. Paquetes tecnológicos. *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn. Sistema de Información para la reforestación (SIRE). Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Consejo nacional para la conservación de la Biodiversidad (CONABIO). conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/bosquedes/Fichas%20Tecnicas/Acrocarpus%20fraxinifolius.pdf. Consultado 12 de junio de 2006. 7 pp.
- Sistema de Información para la Reforestación (SIRE) b. S/f. Paquetes tecnológicos. *Melia azederach* L. Sistema de Información para la reforestación (SIRE). Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Consejo nacional para la conservación de la Biodiversidad (CONABIO). conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/bosquedes/Fichas%20Tecnicas/Melia%20azedarach.pdf. Consultado 07 de junio de 2006. 7 pp.
- Sistema de Información para la Reforestación (SIRE) c. S/f. Paquetes tecnológicos. *Mimosa scabrella* Benth. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Consejo nacional para la conservación de la Biodiversidad (CONABIO). conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/bosquedes/Fichas%20Tecnicas/Mimosa%20scabrella.pdf. Consultado 12 de junio de 2006. 6 pp.
- Somarrriba E, Beer J, Muschler RG. 2001. Research methods for multistrata agroforestry systems with coffee and cacao: recommendations from two decades of research at CATIE. *Agroforestry Systems* 53(2):195-203.
- Soto Pinto ML. 1999. Informe final Proyecto CONABIO M018. Manejo de especies arbóreas para sistemas agroforestales en la región maya tzotzil-tzeltal del norte de Chiapas. 25 p.
- Soto-Pinto L, Perfecto I, Castillo-Hernández J, Caballero-Nieto J. 2000. Shade effect on coffee production at the Northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 80:61-69.
- Soto-Pinto L, Romero-Alvarado Y, Caballero-Nieto J, Segura-Warnholtz G. 2001. Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee-plantations in Northern Chiapas, Mexico. *Biología Tropical* 49(3-4):977-987.
- Soto-Pinto L, de Jong BHJ, Esquivel-Bazan E, Quechulpa S. 2006. Potencial ecológico y económico de almacenamiento de carbono en cafetales. En: Jürgen Pohlen HA, Soto-Pinto L y Barrera J, editores. *El cafetal del futuro. Realidad y visiones*. Shaker Verlag. p. 373-380.
- Soto-Pinto L, Villalvazo-López V, Jiménez-Ferrer G, Ramírez-Marcial N, Montoya G, Sinclair FL. 2007. The role of local knowledge in determining shade composition of multistrata coffee systems in Chiapas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 16(2):419-436.
- Villavicencio-Enríquez L, Valdez-Hernández I. 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia* 37:413-423.

Polinización entomófila

CARLOS VERGARA, JESSICA CONTRERAS, RENATA FERRARI Y JOVITA PAREDES

Resumen

En un gradiente de intensidad de manejo que incluyó dos cafetales rústicos, un monocultivo y un cultivo al sol estudiamos el efecto del sistema de cultivo sobre diversidad y abundancia de insectos visitantes y la importancia relativa de la polinización por insectos y de la auto-polinización espontánea sobre el amarre, la retención y el tamaño de los frutos. Medimos 4 factores bióticos y 3 abióticos y los relacionamos con la diversidad de visitantes florales obtenida mediante censos. La riqueza de visitantes florales fue baja para el cafetal al sol y el monocultivo y alta para los cafetales rústicos y no está relacionada significativamente con la distancia al parche de Bosque Mesófilo de Montaña (BMM) más cercano. Encontramos valores significativos de correlación entre amarre de frutos e intensidad lumínica, tamaño de frutos y disponibilidad de recursos y número de especies y amarre de frutos. La polinización por insectos incrementó el amarre de frutos en ramas con acceso libre (entre 31.1 y 11.8%) con respecto a ramas en donde se excluyeron los insectos. Los niveles naturales de polinización no parecen ser adecuados en los cuatro cafetales estudiados.

Abstract

In a management gradient that included four farms (one unshaded farm, one monoculture, and two rustic) we studied the effect of management intensity on the diversity and abundance of coffee floral visitors and the effect of insect pollination and spontaneous self-pollination on seed set, fruit retention and fruit size. We studied the relation between 4 abiotic and 3 biotic factors and floral visitor diversity. Floral visitor richness was low for unshaded and monoculture coffee plantations and higher for rustic (organic) and commercial policulture plantations, and is not significantly correlated to distance to the closest cloud forest patch. Managed and feral honey bees probably displace native floral visitors. We found significant values for regression of fruit set on light intensity, fruit size on resource availability and species richness and fruit set. Insect pollination caused an increase of 3.1-11.8% in fruit set in branches freely visited by insects compared to bagged branches. Natural levels of pollination do not seem to be adequate in any of the four farms.

INTRODUCCIÓN

La polinización es uno de los procesos ecológicos fundamentales para mantener la viabilidad y diversidad de las angiospermas y es una interacción ecológica que tiene importantes consecuencias para los servicios de los ecosistemas y para la producción de plantas cultivadas (Pimentel *et al.* 1997, Allen-Wardell *et al.* 1998, Kearns *et al.* 1998, Norberg 1999, Cunningham *et al.* 2002, Kremen *et al.* 2002, Klein *et al.* 2007). Cerca de 35% de la producción global de alimentos de origen vegetal proviene de plantas que dependen de polinizadores y un tercio de la dieta de los seres humanos está constituida por verduras, legumbres y frutas polinizadas por insectos, de los cuales más del 90% son abejas (Klein *et al.* 2007).

La diversidad y la abundancia de polinizadores, en especial de abejas, está relacionada con aumentos en el amarre de semillas y frutos de muchas especies vegetales (Rathcke and Jules 1993, Aizen and Feinsinger 1994, Steffan-Dewenter and Tscharrntke 1999, Kremen *et al.* 2002, Klein *et al.* 2003b, Ricketts *et al.* 2004) aunque la relación entre diversidad de polinizadores y polinización de cultivos depende de otros factores tales como la eficiencia de cada especie polinizadora en cada cultivo, la dinámica de las poblaciones de polinizadores y la competencia por polinizadores entre plantas cultivadas y silvestres (Balvanera *et al.* 2001). Sin embargo, los servicios ambientales no están determinados necesaria o exclusivamente por la biodiversidad, sino que pueden derivarse también de la biomasa y de otros atributos de las biotas (Myers 1996).

El café (*Coffea arabica* L.) es una especie auto-compatible, la cual puede o no beneficiarse de los polinizadores animales. Sin embargo, altos números de visitas por insectos polinizadores, en especial por la abeja melífera (*Apis mellifera* L.), se correlacionan con aumentos en el amarre y el peso de los frutos de café (Raw and Free 1977, Manrique and Thimann 2002, Roubik 2002, Klein *et al.* 2003a). La diversidad y abundancia de insectos visitantes de las flores del café difieren en cada sistema de cultivo y estos parámetros están determinados en parte por la cercanía, la densidad y la extensión de los parches de vegetación natural asociados con el cultivo (Klein *et al.* 2002, Klein *et al.* 2003b, Kremen *et al.* 2004, Ricketts 2004, Olschewski *et al.* 2006).

Estudios previos han examinado varios aspectos de la polinización por insectos en cafetales, tanto en

lugares donde el café es nativo, como en sitios donde es una planta introducida como cultivo, incluido México. Sin embargo, el presente es el primer estudio realizado en México considerando varios tipos de manejo de los cafetales e incluyendo en el diseño experimental diferentes tratamientos de polinización.

Los objetivos de este estudio fueron evaluar la diversidad y abundancia de los insectos polinizadores y su importancia en la producción de café, mediante el estudio de las posibles relaciones entre tratamientos de polinización (amarre, retención y tamaño de frutos de café), bajo diferentes tipos de manejo, y su relación con algunos factores bióticos y abióticos.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo de campo se llevó a cabo de mayo a noviembre del 2004. Seleccionamos 4 fincas de café en el centro de Veracruz; dos en la zona de Huatusco: El Mirador (MIR) y De La Vequia, (VSE) y dos en la zona de Coatepec: La Orduña (ORD) y Teocelo (SOL). En el Cuadro 18.1 presentamos información más detallada sobre las cuatro fincas utilizadas para el presente estudio.

Para cada una de las fincas seleccionamos cuatro sitios y para cada uno de los sitios en cada finca medimos 3 parámetros abióticos [temperatura (°C), humedad relativa (%) e intensidad lumínica (luxes)], y 2 parámetros bióticos (cobertura porcentual de herbáceas, árboles y de cafetos en floración, además de la distancia al parche de BMM más cercano). Medimos la temperatura y la humedad relativa tres veces diarias por sitio durante el periodo de trabajo de campo y la intensidad lumínica 20 veces por sitio cada día, al nivel del suelo y a 1.6 m sobre el suelo, en periodos soleados entre las 0900 y las 1500 horas. La evaluación de la cobertura de herbáceas para cada finca se describe en el Capítulo 4; estimamos la cobertura tanto de árboles como en cafetos en floración en 5 cuadrados de 100 m². Este porcentaje fue estimado por cinco observadores en cada sitio de estudio. Calculamos un promedio de las cinco estimaciones y ese promedio lo usamos como el valor de este parámetro para cada sitio de estudio. Medimos la distancia al parche de BMM más cercano para cada sitio utilizando imágenes satelitales (IKONOS y Ortofotos, 1 m² por pixel) analizadas con Arc View Image Analysis (ERDAS 1998-2000).

Cuadro 18.1. Descripción de las fincas estudiadas: El Mirador (MIR), De La Vequia, (VSE), La Orduña (ORD) y Teocelo (SOL).

Sitio	Tamaño (has)	Zona	Municipio	Latitud y Longitud	Altitud promedio (msnm)	Tipo de Manejo (Moguel y Toledo 1999)	Complejidad estructural de vegetación y nivel de manejo (Hernández-Martínez 2007)	Otras características
MIR	140.575	Huatusco	Totutla	19°12'57", 96°53'07"	1010	Café rústico	Rústico, manejo medio	Limita con área de bosque conservado, árboles de más de 10 m. Produce café orgánico
ORD	195.989	Coatepec	Coatepec	19°27'59", 96°56'03"	1200	Café rústico	Rústico, manejo medio	Árboles de más de 15 m, <i>Ficus</i> spp., plátanos (<i>Musa</i> spp.), cítricos (<i>Citrus</i> spp.), <i>Inga</i> spp., nacastle (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>) y casuarinas (<i>Casuarina</i> spp.).
VSE	113.849	Huatusco	Totutla	19°12'22", 96°53'04"	1065	Monocultivo de sombra	Monocultivo	Rodeado de cañaverales, cafetos altos (aprox. 2 m). Dosel de menos de 10 m, compuesto por chalahuites (<i>Inga vera</i>) y <i>Erythrina</i> spp.
SOL	45.039	Coatepec	Teocelo	19°22'53", 96°59'17"	1110	Monocultivo al sol	Sol	Limita con cañadas con vegetación natural bien conservada. Algunos árboles y bambú dentro de cafetales.

Diversidad de visitantes florales

Durante el pico de floración de *C. arabica* en cada uno de los 4 sitios de estudio de cada finca escogimos cuatro cafetos en plena floración, lejos de los bordes del sitio. Las flores de café generalmente se abren un poco antes del amanecer y duran abiertas durante dos días, pero usualmente son atractivas para los insectos visitantes sólo durante el primer día (Free 1993), por lo que elegimos para las observaciones ramas con flores abiertas recientemente. Llevamos a cabo las observaciones durante un día para cada finca, visitando los 4 sitios de estudio en sucesión, de tal manera que entre el inicio de la primera observación y el final de la última observación para una misma finca nunca trascurrieron más de 3 horas. Observamos cada árbol durante 25 minutos entre las 9:00 y las 15:00 para medir la abundancia y la riqueza específica de los visitantes florales. Para realizar las observaciones trazamos imaginariamente un área de observación focal, la cual abarcó aproximadamente un 40% de las ramas del cafeto. Durante las observaciones nos aseguramos que todos los visitantes registrados tuvieran contacto con las partes sexuales de la flor visitada y anotamos si el individuo estaba colectando polen y/o néctar. Durante las observaciones focales los insectos visitantes

fueron identificados por uno de nosotros (CV). Además, registramos el número de individuos por especie y el comportamiento de cada individuo. La identificación en campo fue confirmada con especímenes capturados lejos del área focal de observación o después del periodo de observación y con el apoyo de fotografías de los visitantes florales. Los Hymenoptera fueron determinados por un experto (CV): las abejas sociales a especie, las abejas solitarias a género y las avispas a subfamilia; los Coleoptera fueron determinados por Cuauhtémoc Deloya y los Diptera por Vicente Hernández, ambos del Departamento de Entomología del Instituto de Ecología, A. C. Depositamos ejemplares de referencia en la colección del Laboratorio de Entomología de la Universidad de las Américas, Puebla.

Calculamos dos medidas de diversidad α (Magurran 2005): el índice de Shannon (H') y el índice de Simpson (D_s), expresado como el complemento de D , es decir $1-D$ para cada finca, con los datos obtenidos durante las observaciones focales. Ya que la introducción de las diferentes razas de *Apis mellifera* a América no parece tener un efecto significativo sobre la diversidad de las abejas nativas (Roubik *et al.* 1986, Roubik y Wolda 2001) y que *Apis mellifera* es desproporcionadamente abundante en todos los sitios, recalculamos los índices

de diversidad α sin incluir a esta especie en los cálculos. Para determinar posibles diferencias entre los valores de los índices calculados para las cuatro fincas, llevamos a cabo una prueba de t (Hutcheson 1970).

Para las cuatro fincas construimos una matriz en donde se presenta el índice de Jaccard y el número de especies de visitantes florales compartidas para cada par de fincas.

Tipo de polinización, amarre, retención y tamaño de frutos

Dentro de cada sitio tomamos cuatro cafetos sanos ubicados lejos de los bordes del cafetal. En cada cafeto elegimos cinco ramas más o menos iguales en longitud, exposición a la luz e inclinación, con abundantes brotes florales y aplicamos a cada una de ellas uno de los siguientes tratamientos: 1) Polinización abierta o natural, flores expuestas (PA; mide el grado de autopolinización más polinización por insectos); 2) Emasculación de flores antes de la anthesis (E; mide el grado de exocruzamiento); 3) Polinización manual, utilizando polen de una planta diferente a la polinizada (PMD; mide el grado de polinización cruzada); 4) Polinización manual, utilizando polen de la misma planta (PMM; mide el grado de autofertilidad); 5) Exclusión de polinizadores, con bolsas de malla Nytex® (EX; mide el grado de autopolinización).

Marcamos individualmente cada una de las ramas y registramos el número de botones florales. Embolsamos las ramas seleccionadas para los últimos cuatro tratamientos. Cuando los brotes florales abrieron, retiramos las bolsas de las ramas seleccionadas para los tratamientos de polinización manual y emasculación. Para la polinización manual, transferimos el polen por medio de pinceles al estigma de las flores y para la emasculación retiramos las anteras por medio de pinzas entomológicas. Una vez aplicados los tratamientos, contamos el número de flores tratadas por rama y marcamos aquellos brotes sin abrir durante la experimentación. Nuevamente embolsamos las ramas de polinización manual. Siete semanas después del principal periodo de floración, retiramos todas las bolsas y contamos el total de óvulos verdes para cada una de las ramas de todos los tratamientos, con lo cual calculamos el porcentaje de amarre de frutos. Cinco meses después de la aplicación de los tratamientos, contamos el número de frutos y con este segundo conteo calculamos la retención de frutos. No pudimos recolectar los frutos maduros debido a

la gran dispersión en el tiempo de maduración, por lo que calculamos el volumen individual de cada fruto aún verde, pero completamente desarrollado. El volumen del fruto está altamente correlacionado con otras medidas de producción de café, como la masa del fruto y la masa seca del grano (León-Arguedas y Fournier-Origgí 1962, Sundar 1983, Ricketts *et al.* 2004). Con los conteos realizados calculamos las siguientes proporciones:

- Proporción de amarre por rama: óvulos verdes/ botones florales o flores tratadas;
- Proporción de retención por rama: Retención preliminar = Número de frutos inmaduros/ Número de botones o flores tratadas, Retención final: frutos maduros/ botones o flores tratadas.

Para el cálculo de estas proporciones tomamos el número de brotes florales para las ramas con polinización natural y exclusión, mientras que para el resto de los tratamientos consideramos el número de flores tratadas.

Para minimizar el efecto de la variación entre plantas causada por la química del suelo, humedad, microclima, poda, etc., calculamos valores residuales computando la media de los valores de las ramas de la misma planta y sustrayendo esta media por planta del valor obtenido para cada rama. El uso de valores residuales equivale a añadir “planta” como un factor en los Análisis de Varianza (Ricketts *et al.* 2004).

Análisis estadísticos

Para el análisis de los datos utilizamos Statistica (Stat-Soft 1999). Realizamos Análisis de Varianza o de Covarianza (ANDEVAS o ANCOVAS) de dos vías, para analizar los residuales de cada una de las variables dependientes y determinar si hay interacción entre el tipo de sistema y los tratamientos o si hay efecto de alguna de las variables independientes sobre las respuestas (amarre, retención y tamaño promedio de los frutos). Para los casos donde no hubo interacción, realizamos la prueba PLSD de Fisher para conocer el grado de diferencia entre las muestras; para los casos que presentaron interacción se realizó la prueba HSD de Tukey para comparar pares de medias de los tratamientos dentro de cada tipo de manejo. Calculamos regresiones lineales múltiples entre el número de especies de visitantes florales en cada sitio e intensidad lumínica, disponibilidad de recursos, dis-

tancia al parche más cercano de Bosque Mesófilo de Montaña (BMM), por un lado y amarre, retención y tamaño de los frutos, por el otro. Cuando encontramos valores significativos del coeficiente de correlación de Pearson r ($-0.43 > r > 0.43$, $n = 16$), llevamos a cabo los análisis de correlación y regresión lineal entre los pares de variables correspondientes.

RESULTADOS

Diversidad de visitantes florales

Registramos 15 especies de visitantes florales (Cuadro 18.2). Podemos agrupar los visitantes florales en 3 categorías: abejas melíferas (*Apis mellifera* L.), abejas nativas (meliponinos y abejas solitarias) y otros polinizadores. *Apis mellifera* resultó la especie más abundante (84% de las visitas florales registradas), seguida por *Scaptotrigona mexicana* Guérin (Meliponinae) (7%), mientras que todas las demás especies presentaron una abundancia menor al 1%. No encontramos covarianza significativa entre el número de especies de visitantes florales y luminosidad, disponibilidad de recursos o distancia al parche de BMM más cercano.

Diversidad α . En el Cuadro 18.3 presentamos los valores del índice de Shannon y del índice de Simpson para las cuatro fincas, calculados incluyendo y sin incluir a *Apis mellifera* y los resultados de la prueba de

t de Hutcheson. Cuando *A. mellifera* es incluida en el cálculo de los índices de Shannon y de Simpson, el valor de estos presenta la siguiente ordenación para las cuatro fincas estudiadas: MIR > ORD > SOL > VSE. Cuando se excluye a *A. mellifera* en el cálculo, la ordenación del valor del índice de Shannon para las cuatro fincas estudiadas fue: VSE > MIR > ORD > SOL; y la ordenación del índice de Simpson fue: SOL > VSE > ORD > MIR.

Diversidad β . En el Cuadro 18.4 presentamos los coeficientes de diversidad β (Índice de Jaccard) para el gremio de visitantes florales del café en las cuatro fincas estudiadas. Los valores más altos de este coeficiente se presentan para los pares SOL-ORD ($C_j = 0.40$, 4 especies compartidas) y ORD-MIR ($C_j = 0.38$, 5 especies compartidas).

Efecto de factores bióticos y abióticos sobre amarre, retención y tamaño de frutos. La variación en el número de especies de polinizadores tuvo un efecto estadísticamente significativo ($r = 0.51$, $r^2 = 0.26$, $P = 0.045$) sobre la variación del porcentaje de amarre de frutos (Figura 18.1). Encontramos correlaciones significativas entre amarre e intensidad lumínica ($r = 0.529$, $r^2 = 0.280$, $P = 0.036$) (Figura 18.2), así como entre tamaño de fruto y disponibilidad de recursos ($r = 0.92$, $r^2 = 0.85$, $P = 0.00$) (Figura 18.3). En todos los demás relaciones examinadas la variación en las variables dependientes no tuvo efecto sobre las respuestas.

Cuadro 18.2. Abundancia de insectos visitantes florales de *Coffea arabica* registrados durante las observaciones focales.

Especie		MIR	ORD	VSE	TEO
Abejas melíferas	<i>Apis mellifera</i> L.	123	138	141	119
Abejas nativas	<i>Augochlora</i> sp.	1	0	1	0
	<i>Ceratina</i> sp.	0	0	1	0
	<i>Plebeia frontalis</i> Friese	2	0	1	0
	<i>Scaptotrigona mexicana</i> Guérin	10	0	0	0
	<i>T. (Trigona) nigerrima</i> Cresson	1	1	0	0
	<i>T. (Trigona) corvina</i> Cockerell	1	0	0	0
	Otros polinizadores	Polistinae 1	1	1	0
Polistinae 2		0	5	0	0
Syrphidae 1		4	2	0	0
Syrphidae 2		0	3	0	0
Syrphidae 3		0	0	0	1
Calliphoridae		0	3	0	0
Bibionidae		2	4	0	3
Scarabaeidae		0	1	0	7

Cuadro 18.3. Índices de Shannon y Simpson para los visitantes florales de las cuatro fincas estudiadas.

	H'		1-D	
	Con <i>Apis</i>	Sin <i>Apis</i>	Con <i>Apis</i>	Sin <i>Apis</i>
MIR	0.68 ^a	1.10 ^b	0.27 ^a	0.63 ^a
ORD	0.62 ^a	1.67 ^a	0.23 ^a	0.67 ^a
VSE	0.12 ^b	1.92 ^a	0.04 ^b	0.74 ^a
SOL	0.40 ^a	0.96 ^b	0.18 ^a	0.84 ^a

Prueba *t* de Hutcheson: $t_{(0.05)} = 1.96$.

Efectos de tipo de polinización y sistema de cultivo sobre amarre, retención y tamaño de frutos

Amarre de frutos. El ANDEVA de dos vías indica que no existe una interacción entre los tratamientos y los sistemas de cultivo ($F = 1.025$, $p = 0.425$), pero sí un efecto de los sistemas de cultivo sobre los tratamientos ($F = 11.531$, $p < 0.0001$). La prueba de Fisher arrojó diferencias significativas entre el tratamiento de exclusión (EX) y los demás tratamientos (polinización abierta PA, emasculación E, polinización manual con polen de plantas diferentes PMD, polinización manual con polen de la misma planta PMM): EX, E; EX, PMD; EX, PMM ($p < 0.0001$); EX, PA ($p = 0.0028$), la prueba de Fisher también mostró diferencias significativas entre PA y E ($p = 0.0355$) y entre PA y PMD ($p = 0.0022$).

Cuadro 18.4. Coeficientes de diversidad \hat{a} (Índice de Jaccard) para el gremio de visitantes florales del café en las cuatro fincas estudiadas. Las abreviaturas usadas para los nombres de las fincas son las mismas que aparecen en el texto. Los índices de similitud aparecen en el triángulo superior derecho de la diagonal y el número de especies compartidas entre los sitios en el triángulo inferior izquierdo.

		Diversidad β			
		Fincas			
		SOL	VSE	ORD	MIR
Número	Fincas	SOL	0.13	0.40	0.27
de especies		VSE	1	0.08	0.3
compartidas		ORD	4	1	0.38
		MIR	3	3	5

Retención de frutos. El ANDEVA reveló la existencia de interacción entre el tipo de sistema y los tratamientos ($F = 1.881$, $p = 0.0362$). La prueba HSD de Tukey indica que las medias SOL/PA y MIR/PMM son estadísticamente diferentes ($p = 0.043$).

Tamaño de frutos. El ANDEVA reveló interacción entre el tipo de sistema y los tratamientos ($F = 1.806$, $p = 0.0466$), así como un efecto significativo de los tratamientos ($F = 3.897$, $p = 0.0042$). La prueba HSD de Tukey indicó que los siguientes pares de medias son estadísticamente diferentes: VSE/PMM y VSE/PA ($p = 0.014$); y VSE/EX y VSE/PA ($p = 0.004$).

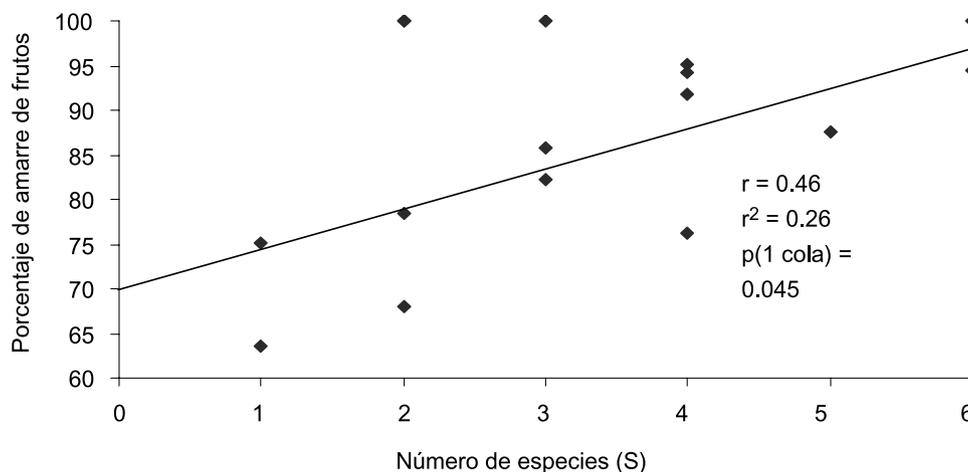


Figura 18.1. Análisis de regresión entre el número de especies de polinizadores vs porcentaje de amarre de frutos.

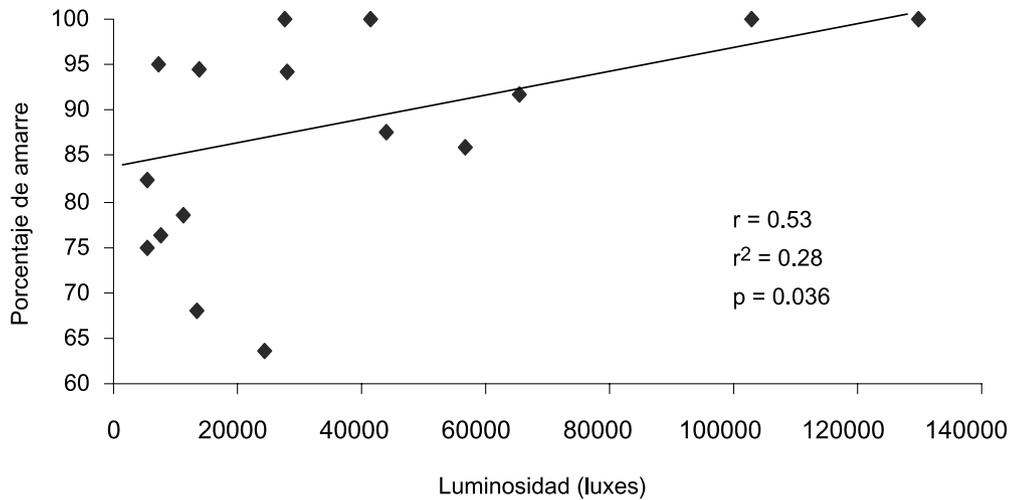


Figura 18.2. Análisis de regresión entre el porcentaje de amarre vs intensidad luminica.

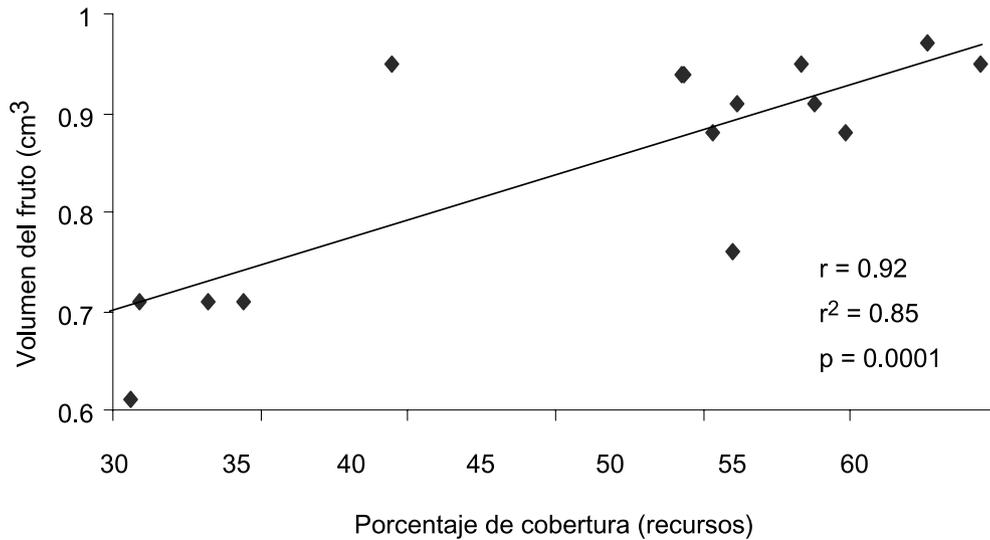


Figura 18.3. Análisis de regresión entre tamaño de fruto vs disponibilidad de recursos.

En la Figura 18.4 presentamos los valores promedio y los errores estándar de los valores residuales para amarre, retención y tamaño de frutos en las cuatro fincas y para los cinco tratamientos de polinización. En la Figura 18.5 presentamos los valores promedio y los errores estándar de los porcentajes para el amarre de frutos para los cinco tratamientos. En la misma figura presentamos los valores promedio de las diferencias en porcentaje de amarre entre polinización abierta (PA) y exclusión de polinizadores (EX). Estas diferencias

representan la participación de la polinización natural en el amarre de frutos, en las condiciones actuales de las fincas. Finalmente, presentamos las diferencias en porcentaje entre la polinización manual utilizando polen de una planta diferente a la polinizada (PMD) y la polinización abierta (PA). La segunda diferencia mide qué tan adecuada es la polinización natural en las condiciones actuales de las fincas.

El mayor porcentaje de amarre de frutos se presentó en todas las fincas para el tratamiento de polinización

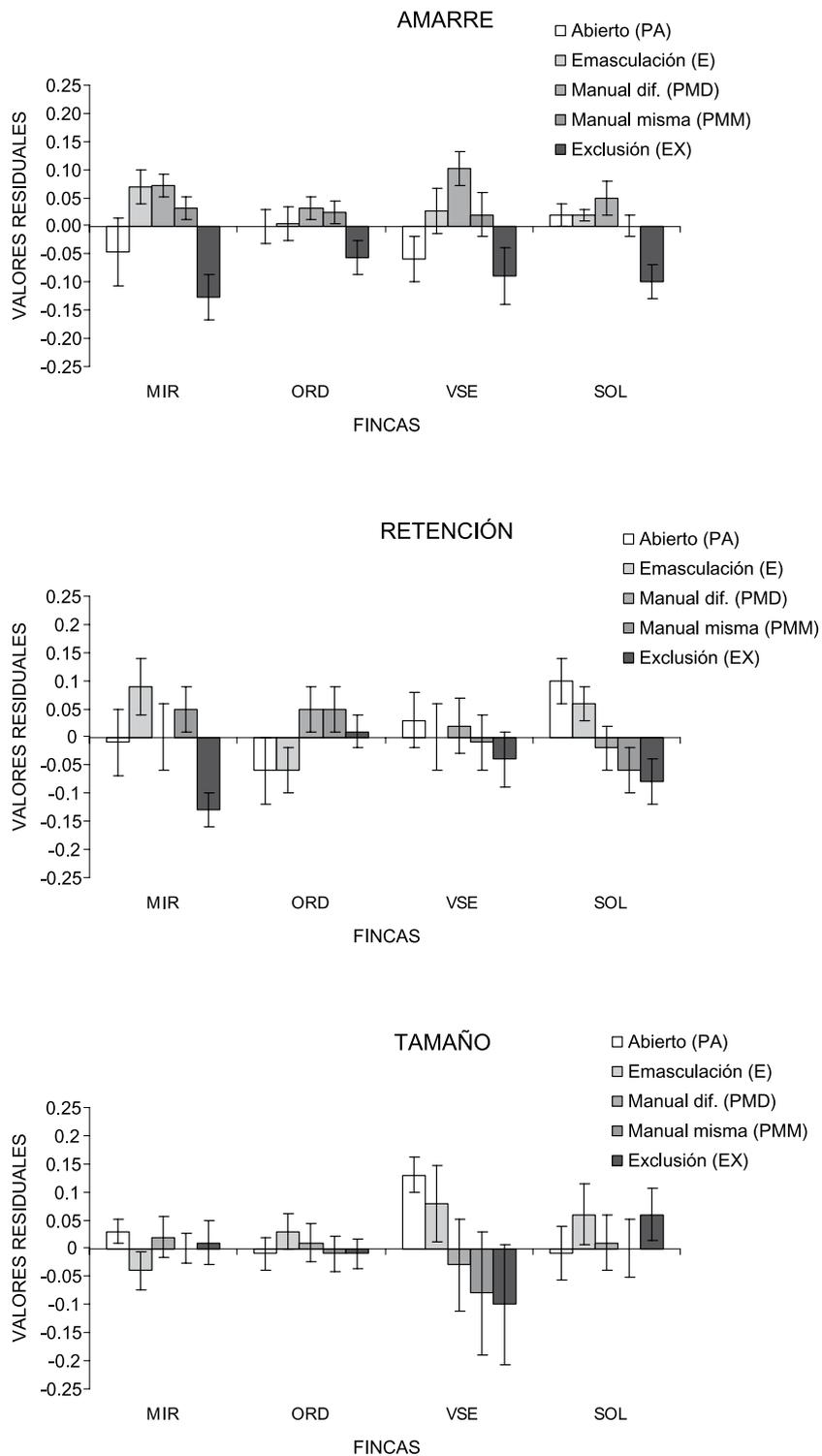


Figura 18.4. Valores promedio y error estándar de los valores residuales observados para amarre, retención y tamaño de frutos en las cuatro fincas.

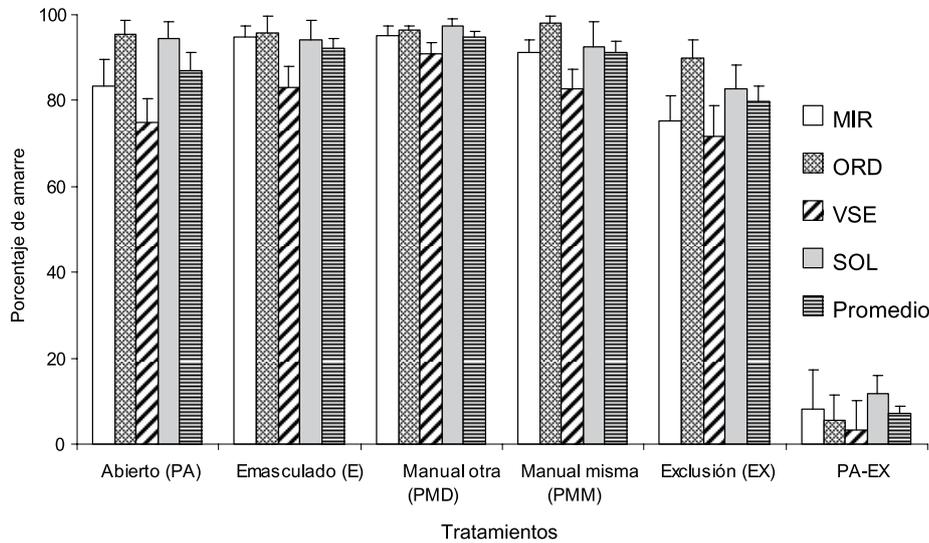


Figura 18.5. Valores promedio y errores estándar para el amarre de frutos después de diferentes tratamientos de polinización en las cuatro fincas estudiadas.

con polen de plantas diferentes y el menor valor fue para el porcentaje de amarre de frutos bajo exclusión de insectos visitantes. La mayor diferencia entre polinización manual, utilizando polen de una planta diferente a la polinizada (PMD) y polinización abierta (PA) (es decir, la polinización natural menos adecuada) la medimos en VSE y la menor (es decir, el nivel de polinización natural más adecuado) en SOL.

DISCUSIÓN

El resultado más importante obtenido por el presente estudio es que, en las condiciones actuales de manejo de cafetales en la región central de Veracruz, la polinización entomófila, llevada a cabo principalmente por abejas melíferas introducidas, ya sea silvestres o manejadas, contribuye entre 3.1 y 11.8% al aumento en el amarre de frutos, es decir, en la proporción de flores de café que se convierten en frutos. Este resultado es comparable con los resultados obtenidos por Klein *et al.* (2003a) para *Coffea arabica* en Indonesia y por Ricketts (2004) en Costa Rica, para sitios alejados de los parches de vegetación natural. Esta proporción es menor en el monocultivo (VSE), en donde la polinización natural es menos adecuada y mayor en el cultivo al sol (SOL), en donde el nivel de polinización natural

es más adecuado. Es posible que ocurra competencia de otras especies vegetales por polinizadores en algunos de los sitios de estudio, lo que provocaría insuficientes visitas a las flores de café y una consecuente disminución en el amarre de frutos.

En nuestro estudio no encontramos una relación entre distancia del sitio de estudio al parche de BMM y el número de especies de visitantes florales. Es posible que los propios cafetales y el mosaico de vegetación que existe en la región de estudio provean suficientes recursos (alimento y sitios de anidación) para las especies de polinizadores. La diversidad de visitantes florales del café en México (este estudio, Philpott *et al.* 2006) parece ser más bajo en relación con lo encontrado en estudios realizados en otros países (Roubik 2002, Klein *et al.* 2003b, Ricketts 2004). Aunque no podemos comparar directamente los resultados obtenidos por nosotros con los de los estudios citados debido a las diferencias metodológicas, es posible que factores a nivel de paisaje o a nivel regional en México determinen que la riqueza de visitantes florales, en particular especies de abejas sociales nativas [apinos en Indonesia (Klein *et al.* 2003b) y meliponinos en América (Roubik 2002, Ricketts 2004)], asociadas con cultivos de café sea menor que en los estudios mencionados. Es interesante notar que en nuestro estudio no encontramos ninguna especie de abejorros (*Bombus* spp.) visitando flores de

café, lo cual es diferente de lo encontrado por Roubik (2002) en Panamá. *Bombus medius* es muy común como visitante de otras especies de plantas presentes en los cafetales estudiados y *Bombus ephippiatus* es observado ocasionalmente en los mismos sitios.

Nuestros resultados confirman la relación directa encontrada por Klein *et al.* (2003a) entre el número de especies polinizadoras y el porcentaje de amarre de frutos. En el presente estudio el número de especies para los diferentes sitios varió entre 1 (*A. mellifera*) en dos sitios de VSE (monocultivo) y 6 en un sitio de cada una de las fincas rústicas, mientras que en el estudio de Klein *et al.* (2003b) el número de especies presentes en los sitios varió entre 3 y 20. Estas diferencias pueden ser debidas al mayor esfuerzo de muestreo empleado en el estudio mencionado.

Aunque otros investigadores no han encontrado una relación directa entre variación en la cantidad de luz y proporción de amarre de frutos (Roubik 2002), nuestros resultados indican que el amarre de frutos es favorecido por mayor iluminación, aunque no es claro si este efecto tiene relación con que mayor luminosidad favorezca la actividad de los insectos polinizadores o la supervivencia de abejas que anidan en el suelo, como lo sugieren Klein *et al.* (2002), o ejerce un efecto sobre el funcionamiento de las plantas, que favorece el amarre de los frutos.

De acuerdo con nuestros resultados, la retención de frutos es muy variable entre las fincas y puede haber sido influida por la manipulación experimental, ya que encontramos una gran variación entre los resultados de cada tratamiento en la misma finca.

El tamaño de los frutos también es variable entre fincas pero parece tener una relación más clara con el tipo de manejo, ya que si comparamos los resultados obtenidos para las cuatro fincas para la polinización abierta, encontramos variaciones que podrían estar determinadas por la aplicación de fertilizantes, por ejemplo.

La polinización es uno de los muchos factores que intervienen en la productividad de fincas cafetaleras en el centro de Veracruz. Las cuatro fincas estudiadas se beneficiarían de acciones de manejo que aumentarían la diversidad de insectos visitantes, ya que en todos los casos el amarre de frutos fue mayor en las ramas en donde se llevó a cabo polinización manual cruzada (PMD) que en las ramas con polinización abierta.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Santiago Mario Vázquez Torres, del Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana por facilitarnos el uso de un vehículo durante el trabajo de campo. A los dueños de las fincas en donde se desarrolló el trabajo de campo: Jorge A. Muller Grohmann de “El Mirador”(MIR), Sergio y Francisco de la Vequia Bernardi de “Herrería” (VSE), Raúl Monge Villalobos (ORD) y Dionisio Pérez J. de “Buenavista” (SOL) quienes otorgaron las facilidades para realizar los estudios. Ivette Macouzet García y Gabriela Gutiérrez Zamora Marmolejo colaboraron durante el trabajo de campo.

El presente estudio se realizó en el Departamento de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad de las Américas-Puebla con apoyo del proyecto “Un estudio interdisciplinario sobre la conservación de la biodiversidad y los servicios ambientales del bosque mesófilo de montaña, en un gradiente de manejo de cultivo de café en el centro de Veracruz”, SEMAR-NAT-2002-C01-0194.

REFERENCIAS

- Aizen M. and Feinsinger P. 1994. Forest fragmentation, pollination, and plant reproduction in a Chaco dry forest, Argentina. *Ecology* 75:330–351.
- Allen-Wardell G, Bernhardt P, Bitner R, Burquez A, Buchmann S, Cane J, Cox PA, Dalton V, Feinsinger P, Ingram M, Inouye D, Jones CE, Kennedy K, Kevan P, Koopowitz H, Medellín R, Medellín-Morales S, Nabhan GP, Pavlik B, Tepedino V, Torchio P and Walker S. 1998. The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation Biology* 12:8–17.
- Balvanera P, Daily GC, Ehrlich PR, Ricketts TH, Bailey SA, Kark S, Kremen C. and Pereira H. 2001. Conserving biodiversity and ecosystem services. *Science* 291:2047.
- Cunningham SA, FitzGibbon F, Heard TA. 2002. The future of pollinators for Australian agriculture. *Australian Journal of Agricultural Research* 53:893–900.
- Free JB. 1993. *Insect Pollination of Crops*. Harcourt Brace Jovanovich, Publishers. 2nd Edition. University of Wales, Cardiff, UK.
- Hutcheson K. 1970. A test for comparing diversities based on the Shannon formula. *Journal of Theoretical Biology* 29(1):151-154

- Kearns CA, Inouye DW, Waser NM. 1998. Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29: 83-112.
- Klein AM, Steffan-Dewenter I, Buchori D, Tscharntke T. 2002. Effects of Land-Use Intensity in Tropical Agroforestry Systems on Coffee Flower-Visiting and Trap-Nesting Bees and Wasps. *Conservation Biology* 16(4):1003-1014.
- Klein AM, Steffan-Dewenter I, Tscharntke T. 2003a. Bee Pollination and Fruit Set of *Coffea arabica* and *C. canephora* (Rubiaceae). *American Journal of Botany* 90(1):153-157.
- Klein AM, Steffan-Dewenter I, Tscharntke T. 2003b. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society* 270:955-961.
- Klein AM, Vaissiere BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society (B)* 274:303-313.
- Kremen C, Williams NM, Thorp RW. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99(26):16812-16816.
- Kremen C, Williams, NM, Bugg, RL, Fay JP, Thorp RW. 2004. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. *Ecology Letters* 7:1109-1119.
- León-Arguedas J, Fournier-Origgi LA. 1962. Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica* L. *Turrialba* 12(2):65-74.
- Magurran AE. 2005. *Measuring biological diversity*. Oxford: Blackwell Science. 256 p.
- Manrique AJ, Thimann RE. 2002. Coffee (*Coffea arabica*) pollination with Africanized honeybees in Venezuela. *Interciencia* 27:414-416.
- Moguel P and Toledo VM. 1999. Biodiversity Conservation in Traditional Coffee Systems of Mexico. *Conservation Biology* 13(1):11-21.
- Myers N. 1996. Environmental services of biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 93:2764-2769.
- Norberg J. 1999. Linking Nature's services to ecosystems: some general ecological concepts. *Ecological Economics* 29:183-202.
- Olschewski R, Tscharntke T, Benítez PC, Schwarze S, and Klein A. 2006. Economic evaluation of pollination services comparing coffee landscapes in Ecuador and Indonesia. *Ecology and Society* 11(1):7. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art7/>
- Philpott SM, Uno S, Maldonado J. 2006. The importance of ants and high-shade management to coffee pollination and yield in Chiapas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 15:487-501
- Pimentel D, Wilson C, McCullum C, Huang R, Dwen P, Flack J, Tran Q, Saltman T and Cliff B. 1997. Economic and environmental benefits of biodiversity. *Bioscience* 47:747-757.
- Rathcke B and Jules E. 1993. Habitat fragmentation and plant-pollinator interactions. *Current Science* 65:273-277.
- Raw A, Free JB. 1977. The pollination of coffee (*Coffea arabica*) by honeybees. *Tropical Agriculture* 54:365-371.
- Ricketts TH. 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology* 18(5):1262-1271.
- Ricketts TH, Daily GC, Ehrlich PR, Michener CD. 2004. Economic Value of Tropical Forest to Coffee Production. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101(34):12579-12582.
- Roubik DW. 2002. Feral African bees augment neotropical coffee yield. En: Kevan P & Imperatriz Fonseca VL (eds) - *Pollinating Bees - The Conservation Link Between Agriculture and Nature* - Ministry of Environment / Brasilia. p. 255-266.
- Roubik DW, Moreno JE, Vergara C, Wittmann D. 1986. Sporadic Food Competition with the African Honey Bee: Projected Impact on Neotropical Social Bees. *Journal of Tropical Ecology* 2(2):97-111.
- Roubik DW, Wolda H. 2001 Do competing honeybees matter? Dynamics and abundance of native bees before and after honeybee invasion. *Population Ecology* 43: 53-62.
- Steffan-Dewenter I and Tscharntke T. 1999. Effects of habitat isolation on pollinator communities and seed set. *Oecologia* 121:432-440.
- Sundar KR. 1983. Fruit volume in relation to bean size and weight in *Coffea canephora*. *Journal of Coffee Research* 13(2):40-43.

Variación de la biodiversidad a nivel paisaje

FABIOLA LÓPEZ-BARRERA Y ROSARIO LANDGRAVE

Resumen

La diversidad de diferentes grupos taxonómicos asociada al manejo del café ha sido extensamente estudiada, encontrando particularidades en las respuestas, incluso a nivel de especie. La diversidad y abundancia de especies que se encuentra en un cafetal puede estar relacionada con factores que operan a nivel de sitio o a una escala espacial mayor, como la calidad de la matriz adyacente. El estudio de la calidad del paisaje ha sido pocas veces incorporado en las investigaciones de cafetales de sombra. En este capítulo se describe la calidad del paisaje de las fincas de café y se explora su relación con el manejo y la riqueza registrada en fincas con diferente manejo de café. Encontramos que la riqueza de especies de aves, mamíferos, hongos y murciélagos se ve afectada por la calidad del paisaje, medida con un índice de verdor (NDVI). Los resultados muestran que no hay una relación directa entre el gradiente de intensificación de manejo de las fincas y el gradiente de calidad de paisaje. Esto explica porqué algunos grupos taxonómicos se encuentran con mayor abundancia y/o diversidad que lo esperado en fincas con un manejo más intenso. Se discuten las implicaciones en términos de conservación y manejo de la biodiversidad en el paisaje cafetalero y la importancia de considerar escalas espaciales mayores a la finca.

Abstract

Diversity of different taxonomic groups associated with coffee management has been extensively studied, finding particular responses, even to species level. The species diversity and abundance within a coffee farm can be related to factors that operate to site level or to a major spatial scale, as the quality of adjacent matrix. The study of landscape quality has seldom been incorporated in shade coffee studies. In this chapter, we described the landscape quality and we explored its relation with the coffee management and richness recorded in sites with different coffee management. The richness of birds, mammals, fungi and bats was affected by the landscape quality estimated using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The results showed that there is no direct relationship between the coffee management gradient and the landscape quality around the farms. This explains that the richness of some taxonomic groups may be higher than expected in sites where the coffee management is more intense. The implications are discussed in terms of conservation and biodiversity management and is highlighted the importance of considering higher spatial scales than the farm.

INTRODUCCIÓN

Agroecosistemas y biodiversidad

Los agroecosistemas cubren aproximadamente el 37% de la superficie terrestre (excluyendo a Groenlandia y la Antártica, FAO 2000), coincidiendo en su distribución con ecosistemas boscosos y praderas. Cerca de dos terceras partes de las tierras agrícolas contienen áreas degradadas como consecuencia de los procesos de erosión, salinización, compactación, agotamiento de nutrientes, degradación biológica o contaminación que han tenido lugar durante los últimos 50 años. En México, los agroecosistemas se superponen en su distribución con importantes ecosistemas naturales, llegando a ocupar 22 millones de ha (11% del territorio; SIAP 2005). Dependiendo del tipo de cultivo, manejo, extensión y muchos otros factores, ha habido un impacto diferente de los agroecosistemas sobre la biodiversidad de los ecosistemas naturales, sin embargo, la biodiversidad remanente en estos paisajes también tiene un efecto en los agroecosistemas.

La biodiversidad desempeña un papel importante en el mantenimiento de los agroecosistemas, al brindar servicios ambientales y ecosistémicos más allá de la producción de bienes como el alimento, la madera, el combustible, etc. Ejemplos de estos servicios incluyen el reciclaje de nutrientes, el control del microclima local, la regulación de procesos hidrológicos locales, la regulación de la abundancia de organismos no deseados y la desintoxicación química. Asimismo, el tipo de agroecosistema tiene un impacto directo en la biodiversidad dentro y fuera del cultivo (Altieri 1999). Existen agroecosistemas que difieren en edad, diversidad, estructura y manejo. Según Southwood y Way (1970), el grado de biodiversidad en un agroecosistema depende de cuatro características principales: 1) la diversidad de la vegetación dentro y alrededor del agroecosistema, 2) la permanencia de varios cultivos dentro del agroecosistema, 3) la intensidad del manejo y 4) el grado de aislamiento del agroecosistema de la vegetación natural. A pesar de que las características uno y cuatro se refieren a propiedades que ocurren en una escala espacial diferente a la del sitio y son atributos del paisaje, la mayor parte de los estudios consideran solo el factor de la intensidad del manejo, y la estructura y diversidad dentro del agroecosistema (Capítulo 2).

La diversidad de depredadores naturales, bacterias, hongos y plantas en el paisaje asociado a los agroecosis-

temas pueden contribuir directamente a la producción agrícola ayudando a controlar plagas y otros brotes epidémicos, mejorando la fertilidad del suelo y sus propiedades físicas, y fortaleciendo la resistencia y capacidad de adaptación de los ecosistemas cuando ocurren desastres naturales como inundaciones y sequías. Por ejemplo, existen estudios que resaltan la importancia de la heterogeneidad de paisaje que rodea a los agroecosistemas en el control de plagas (Östman *et al.* 2001). Thies y Tschardt (1999) evaluaron el efecto de la estructura del paisaje en el parasitismo que sufre un escarabajo y el daño que éste causa a cultivos de canola (*Brassica napus*) en Alemania. Encontraron que cuando los cultivos estaban rodeados de campos abandonados, el parasitismo sobre este escarabajo era mayor y como consecuencia había menos daño en los cultivos. Por el contrario, cuando los cultivos estaban rodeados por campos agrícolas en uso y monocultivos, el parasitismo era menor y había por ello más daño en la cosecha.

A nivel del paisaje la diversidad y estructura dentro de los agroecosistemas puede contribuir directamente a la conservación. Por ejemplo, Williams-Guillen *et al.* (2006) encontraron en cafetales de Nicaragua que las poblaciones de mono aullador utilizaban los cultivos de café de sombra como áreas de alimentación y paso hacia los fragmentos de bosque, siempre y cuando estos cafetales tuvieran árboles grandes y diversos.

Es por estas relaciones entre el agroecosistema y su paisaje que el estudio de la intensidad y dirección de los efectos mutuos se hace una prioridad, si queremos conciliar la productividad de los cultivos y la conservación de la biodiversidad a nivel de paisaje.

Calidad del paisaje, café y biodiversidad

Muchos son los estudios de la calidad del paisaje y su relación con diversos grupos de plantas y animales, sin embargo, la definición de calidad del paisaje es relativa al o a las especies de estudio. Por ejemplo, la calidad del paisaje para una especie que habita en espacios abiertos es diferente a la que habita solo dentro de bosques conservados. Igualmente el conjunto de especies responde de manera diferente a la fragmentación de un bosque. Por ejemplo, Pineda y Halfter (2004) registraron que la riqueza de especies de ranas tiene una respuesta diferente al grado de transformación del bosque, ellos encontraron que dos plantaciones de café son igualmente diversas que los fragmentos de bosque mesófilo de montaña.

En general, se ha considerado que un paisaje tiene mayor calidad para mayor cantidad de grupos de organismos, en tanto contiene más áreas con vegetación natural distribuidas en fragmentos de vegetación más grandes y poco aislados. Otros han relacionado que la diversidad del paisaje (número de usos de suelo en un área determinada) se relaciona con la diversidad de plantas y animales. Sin embargo, no existe una fórmula única para definir la calidad del paisaje o la matriz adyacente a un sitio determinado. Perfecto y Vandermeer (2002) encontraron que la calidad de la matriz agrícola en las fincas de café es importante para la conservación de la diversidad de hormigas, ya que la riqueza de especies de hormigas fue significativamente menor en una matriz de baja calidad comparada con el bosque. Además, la riqueza de especies disminuyó a mayor distancia del fragmento de bosque. Resultados semejantes reportan Armbrecht y Perfecto (2003) quienes estudiaron hormigas en dos cafetales y encontraron que la abundancia de hormigas disminuía conforme la distancia al fragmento de bosque más cercano se incrementaba. De igual manera, Ricketts (2004) encontró que la riqueza de abejas, la cantidad de visitas que éstas hacen a las flores del café y el depósito de polen eran mayores en sitios que estaban cercanos al bosque (menos de 100 metros de distancia), a diferencia de los sitios que se encontraban lejos del bosque (hasta 1.6 km de distancia). Klein *et al.* (2003) estudiaron 24 agroecosistemas y encontraron que conforme se incrementaba la distancia entre cafetal y bosque disminuía la diversidad de abejas, por ello había menor polinización y menor cantidad de frutos. Con respecto a este punto, Ricketts *et al.* (2004) documentaron que los polinizadores que se encuentran en fragmentos de bosque a 1 km a la redonda de las fincas incrementan la productividad hasta un 20% y calcularon que en Costa Rica el servicio ambiental de polinización de dos fragmentos de bosque (46 y 111 ha, respectivamente) era de \$60,000 dólares por año.

Estos estudios en cafetales encuentran que la calidad del paisaje para la biodiversidad y productividad dentro de las fincas está dada por la distancia al fragmento de bosque, ya que es determinante para la conservación de algunos grupos de insectos, entre ellos los polinizadores del café. Sin embargo, hacen falta estudios en otros tipos de paisajes en donde ya no hay remanentes de bosque tan grandes cerca de las fincas y la calidad del paisaje puede estar dada por otras variables.

El paisaje cafetalero de Veracruz

Una de las razones por las cuales el café tiene gran importancia como cultivo es que su distribución coincide con ecosistemas boscosos de gran importancia biológica, como el bosque mesófilo de montaña (BMM). En Veracruz, este tipo de vegetación fue reemplazada casi en su totalidad por diversos agroecosistemas y áreas urbanas. Los potreros, cultivos y zonas urbanas ocupan un 72% de la superficie del estado y sólo 8.8% de la vegetación se considera no perturbada (Palacio-Prieto *et al.* 2000). En particular, un estudio reciente en la cuenca alta del río La Antigua que incluye al municipio de Coatepec, muestra que mientras que en 1990 el BMM ocupaba el 32.2% del área para 2003 esta cifra se había reducido a 21.0% (Muñoz-Villers y López-Blanco, 2007).

En contraste con otros agroecosistemas, el cultivo de café de sombra (rústico) puede conservar los árboles del dosel y algunos del sotobosque que funcionan como sombra, por eso tiene el potencial en dichos casos de conservar parte de la biodiversidad y el funcionamiento del BMM (Perfecto *et al.* 1996). Estudios sobre aves, mamíferos, artrópodos y orquídeas han mostrado que una gran parte de las especies del bosque original puede coexistir en estos agroecosistemas. Además, la estructura compleja de las fincas de café de sombra sirve como un corredor que facilita el movimiento de las especies de bosque entre los fragmentos forestales (Williams-Guillén *et al.* 2006). También reduce los impactos negativos de efectos de borde sobre estos remanentes de bosque. Estos estudios muestran que la intensificación o tecnificación del manejo de este agroecosistema resulta en una pérdida significativa de especies (Moguel y Toledo 1999).

A pesar de la importancia del café de sombra en Veracruz, se han registrado recientemente dramáticos cambios en su distribución y extensión. Muñoz-Villers y López-Blanco (2007) muestran que entre 1990 y el 2003 en la cuenca alta del río La Antigua (área de 1325 km² que incluye el municipio de Coatepec) se redujo 84% el área ocupada por cafetales mientras que el área ocupada por el cultivo de la caña se quintuplicó en el mismo periodo. Esto ha resultado en que fincas de café con sombra se encuentren cada vez más frecuentemente rodeadas de áreas abiertas, urbanas y cultivos sin árboles, lo cual afecta la distribución y abundancia de organismos que utilizan el paisaje en su conjunto. Varios estudios han documentado la importancia de la conectividad de fragmentos de vegetación

natural, agroecosistemas con árboles, cercas vivas, etc., que forman corredores biológicos que mantienen el movimiento de muchos organismos que requieren desplazarse para sobrevivir (Guerry y Hunter 2002, Weibull *et al.* 2003, Tschardtke *et al.* 2005). En nuestra región de estudio el 26.4% del paisaje está ocupado por café (según el padrón nacional cafetalero) y la distribución esparcida de estos agroecosistemas cafetaleros son claves para el funcionamiento y dinámica de los fragmentos de bosque y vegetación natural que aún persisten en el paisaje (Figura 19.1). Por ello, en el paisaje cafetalero de Veracruz, el café es muy importante para conectar y mantener la funcionalidad de los pocos fragmentos de bosque que quedan.

El objetivo del presente estudio es describir la calidad del paisaje adyacente a cada una de las fincas que representan un gradiente en el manejo del café y

relacionar esta calidad con la biodiversidad registrada en cada finca. Esto nos ayudará a entender el efecto relativo del paisaje y su interacción con la intensidad del manejo sobre la biodiversidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Muestreo de la biodiversidad

En este estudio utilizamos los datos de riqueza (número de especies) registrada para cada sitio (16 fincas y 3 fragmentos de bosque). Estos datos fueron obtenidos en los puntos permanentes de muestreo (Capítulo 1). La metodología para cada grupo taxonómico se presenta a detalle en este libro según el capítulo correspondiente. Estos datos fueron obtenidos de la base de datos general del proyecto. El número de especies

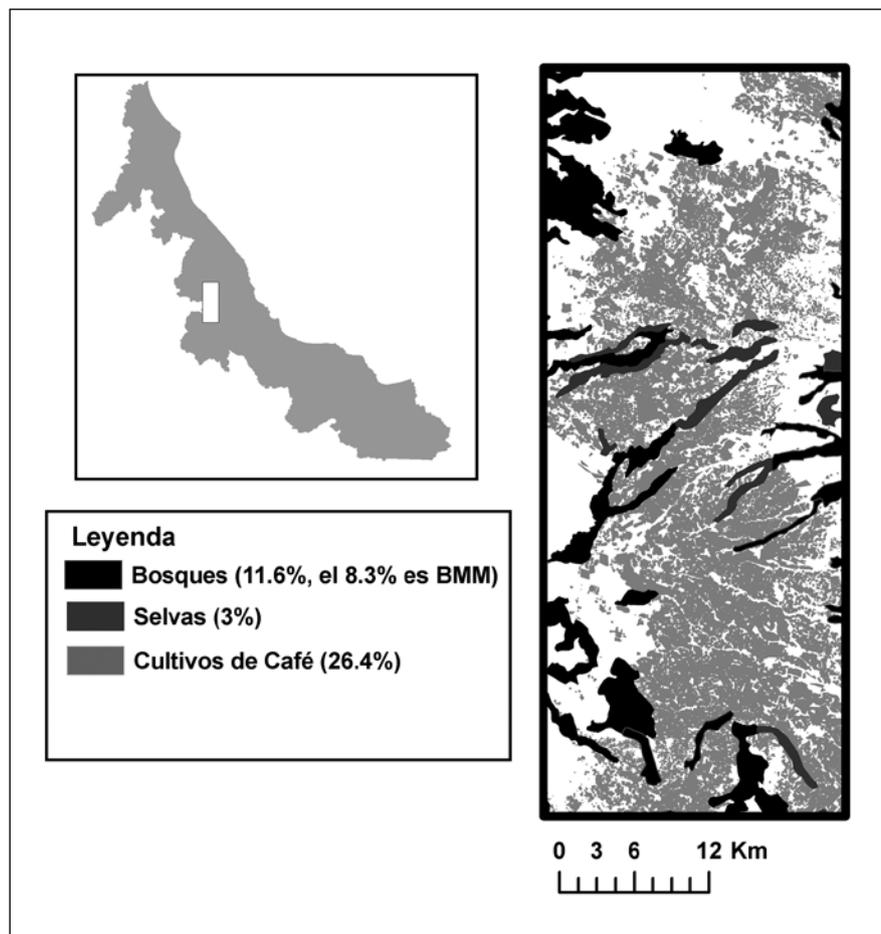


Figura 19.1. Uso de suelo según la CONABIO (INEGI III, 2002) para la región de estudio y sobrepuesta se encuentra la cobertura de plantaciones de café según el padrón nacional cafetalero (SAGARPA). Se muestra como estas plantaciones de café generan una alta conectividad con los fragmentos de bosque mesófilo de montaña y bosques de encino remanentes en la región.

considerado fue el total registrado para una finca. Para algunos grupos taxonómicos se pudo obtener de los especialistas una lista de especies generalistas (amplia distribución) y otra de especialistas (especies distribuidas más frecuentemente en zonas boscosas, más conservadas). Los sitios caracterizados en cuanto a su paisaje son todos los sitios considerados por el proyecto Biocafé, aunque estos sitios han sido analizados en cuanto a la variación dentro de las fincas (manejo y estructura), en este capítulo consideramos solo la variación fuera de los puntos permanentes de muestreo (Figura 19.2).

Sistema de información geográfica

La región de estudio se encuentra ubicada entre los paralelos 18° 59' 52.5"N, 19° 34' 10"N y entre los meridianos 97° 03' 19"W, 96° 48' 54.5"W. Este rectángulo se cubre con secciones de 6 cartas topográficas 1:50,000 de INEGI (UTM zona 14 Norte datum ITRF92 época 1988). Del conjunto de datos vectoriales para cada carta, se tomó el mismo tema (ej. ríos) y se unieron las seis cartas, para después cortar el

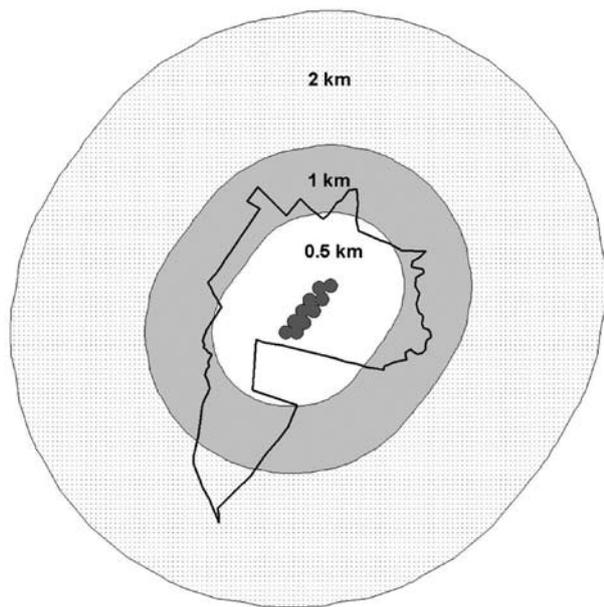


Figura 19.2. Finca ORD (polígono delineado en negro). Esta es una muestra de la metodología empleada para el estudio de la matriz a 3 diferentes escalas espaciales (círculos de 0.5, 1 y 2 km) a partir del área ocupada por los puntos permanentes de muestreo (polígono central en gris oscuro) de la biodiversidad. Este análisis se realizó en cada uno de los sitios y fue independiente del tamaño de la finca de estudio.

rectángulo que contiene la zona de estudio. Por último se actualizaron las tablas de atributos cambiando cada valor en la columna “layer” (ej. HL_3271) por su descripción asociada “corriente de agua: Intermittente”. Este proceso se repitió para cada tema de las 6 cartas. Así se obtuvieron las coberturas de caminos, carreteras, ríos, cuerpos de agua, curvas de nivel, temperatura, humedad, áreas de cultivo y áreas urbanas e instalaciones.

El Censo de población 1995 INEGI y el Censo 2000 INEGI se obtuvieron de la base cartográfica gratuita de la CONABIO (<http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto/metadatos.pl>). En ambos casos, se seleccionaron las localidades que cubrirían las 6 cartas antes mencionadas, usando unidades geodésicas. Se realizó un cambio de proyección a unidades UTM zona 14 Norte con datum WGS84. A partir del tema de curvas de nivel, se obtuvieron 4 modelos digitales de elevación (MDE): el más grande a 10 m/pix que cubre el rectángulo que abarca toda la zona de estudio, los otros 3, interpolados a 4 m/pix, para efectuar la ortorectificación de las 3 escenas de imágenes IKONOS abajo mencionadas. Todos los MDE se obtuvieron con el interpolador krigging del programa Surfer 8.0, importados en ERDAS 8.4 y convertidos a GRID en ArcView 3.2.

Imágenes de satélite

Se obtuvieron imágenes IKONOS-2 a través de Intec American. Las imágenes IKONOS se componen de una banda pancromática (0.45-0.90 micrones) con 1-m de resolución espacial, así como de cuatro bandas multiespectrales, cada una con 4-m de resolución espacial. Las cuatro bandas son las siguientes: Banda 1 (azul) 0.45-0.52 micrones, Banda 2 (verde) 0.52-0.60 micrones; Banda 3 (rojo) 0.63-0.69 micrones y Banda 4 (rojo cercano) 0.76-0.90 micrones.

Las tres imágenes ortorectificadas (utilizando el método RPC, Grodecki 2001): Norte (tomada el 19-04-2003), Media (05-03-2004) y sur (17-03-2003) proveen casi una cobertura total de los sitios de estudio. Para el caso de dos de los sitios (bosques control) no se contó con las imágenes IKONOS, por lo que se trabajó con otras dos imágenes. Una imagen Quickbird del año 2005 para el caso del sitio MAS y una imagen Spot del año 2004 para el sitio CAÑ. Por ello, las comparaciones para estos dos sitios se hicieron con cautela pues provienen de imágenes de diferente resolución.

Índice de vegetación: NDVI

Las imágenes de cuatro bandas se convirtieron a un índice de vegetación único, el NDVI por sus siglas en inglés (normalized difference vegetation index), el cual es un indicador que es utilizado para estimar la cobertura de la vegetación. El NDVI combina la radiación reflejada rojo e infrarrojo cercano ya que en estas bandas el contraste entre vegetación y suelo desnudo es el máximo. Las imágenes NDVI fueron creadas al transformar cada pixel multiespectral de acuerdo con la siguiente relación (Rouse *et al.* 1973): $NDVI = (\text{infrarrojo cercano} - \text{rojo}) / (\text{infrarrojo cercano} + \text{rojo})$ en donde “infrarrojo cercano” y “rojo” son las reflectancias en cada banda, (4 y 3 en IKONOS, respectivamente). El número NDVI está entre -1 y +1 y es un indicador ampliamente utilizado del vigor de la vegetación o de la biomasa relativa. Para las áreas donde hay mucha vegetación, el valor de NDVI es cercano a uno, mientras que para las áreas sin vegetación, el valor es más cercano a cero o menor que cero.

Una vez obtenido el NDVI, realizamos una categorización de este valor resultando en 4 categorías de verdor, aplicamos un filtro de mayoría para obtener los polígonos (extensión de “Spatial Analyst”) y convertimos el NDVI en un tema con 4 clasificaciones: abierto, sombra incipiente, sombra intermedia y sombra densa. Estas categorías tienen equivalencias aproximadas con los usos de suelo de la región, en la categoría “abierto” se incluyen áreas urbanas, pastizales, cultivos sin árboles (caña, maíz, etc.) y áreas sin ninguna cobertura vegetal (zonas de extracción de materiales, etc.), en el caso de “sombra incipiente” se incluyen matorrales o acahuals con una sombra dispersa. En el caso de “sombra intermedia” entran acahuals densos y cultivos de café con poca sombra y en el de “sombra densa” se asocian áreas de café con sombra, cafetales abandonados con sombra densa y fragmentos de bosques.

Tomando como referencia el área de los puntos permanentes en cada finca o bosque (Capítulo 1), trazamos círculos concéntricos de diferente diámetro (0.5, 1 y 2 km, Figura 19.2). La escala máxima fue de 2 km debido a la cobertura disponible de la imagen de satélite IKONOS. Dentro de cada uno de estos círculos cuantificamos qué porcentaje del área es ocupada por cada tipo de cobertura utilizando la herramienta de “clip theme” y “patch statistics”. Estos 4 porcentajes obtenidos por paisaje a diferentes distancias (0.5, 1 y 2 km) por cada sitio, se convirtieron en un índice de paisaje ponderado usando

la siguiente sumatoria: $(\% \text{ área abierta} \times 1) + (\% \text{ área sombra incipiente} \times 2) + (\% \text{ área sombra intermedia} \times 3) + (\% \text{ área sombra densa} \times 4)$.

Análisis de resultados

Una vez que se obtuvieron los índices de calidad del paisaje a 0.5, 1 y 2 km, éstos se correlacionaron con otras variables como la riqueza de aves, mamíferos pequeños y medios, murciélagos, hormigas, hongos saprobios y simbiontes, helechos, epífitas, anfibios, reptiles plantas vasculares, dípteros y coleópteros. Para conocer si la variación del paisaje de las fincas se relaciona con la estructura y manejo de las fincas, estos índices también se relacionaron con el índice de estructura de la vegetación y el de manejo dentro de las fincas (Capítulo 2). El número de fincas muestreadas por grupo taxonómico varía según el diseño empleado por los autores. Solo para algunos grupos se muestrearon todas las fincas (p.ej, aves y plantas vasculares). Cabe mencionar que en los casos de los sitios PAN y PAM se obtuvo un solo valor del paisaje, ya que el tamaño de estas fincas es muy pequeño, están adyacentes y comparten el mismo paisaje. Para estas fincas se duplicó el valor del paisaje cuando se correlacionaron con datos particulares de riqueza de especies de algunos grupos taxonómicos. Debido al tipo de variables consideradas en este estudio se utilizaron correlaciones no paramétricas de Spearman utilizando el programa estadístico SPSS V. 11.0. También se probó la correlación de los índices entre sí a diferentes escalas para determinar y excluir los índices que están más correlacionados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la información vectorial e imágenes compiladas se realizaron mapas descriptivos del área de estudio. En estos mapas se ubicaron las fincas y bosques de estudio, carreteras, ríos, curvas de nivel sobre el nivel del mar, localidades y límites municipales. Los sitios se ubicaron sobre ortofotos de 1995, imágenes Landsat e imágenes IKONOS. Estos mapas descriptivos en formato JPG se pusieron a disposición de todos los miembros del proyecto Biocafé en un sitio de Internet para utilizarlos en sus respectivas publicaciones. Se obtuvo para cada una de las 3 diferentes escalas (0.5, 1, y 2 km alrededor de los puntos, Figura 19.2) la caracterización del paisaje en cada sitio. Los detalles

aparecen en el Cuadro 19.1 para el paisaje a 2 km alrededor de los puntos permanentes.

En cuanto a la correlación entre los índices de paisaje a diferentes escalas, encontramos que los paisajes menos correlacionados (Cuadro 19.2) correspondieron con las distancias a 0.5 km y 2 km, con base en estos resultados se decidió solo mostrar estas últimas dos escalas en una sola figura (Figura 19.3). En esta gráfica se muestran los sitios distribuidos en un gradiente de menor a mayor calidad del paisaje en las dos escalas espaciales. Los sitios con menor calidad del paisaje, no importando la escala del estudio, fueron PAR, PAN, AXO. El sitio que tiene buena calidad de paisaje pero solo cuando se estudió a 0.5 km alrededor de los puntos de muestreo fue ORD y los sitios que tienen mediana calidad del paisaje pero solo a 2 km fueron MOR e AUR. El resto de los sitios entran en un gradiente de menor a mayor calidad que va de MAS y VBM a ESM, respectivamente, siendo este último sitio el que presenta el mejor paisaje en ambas escalas de estudio. Es interesante notar que la mayor parte de las fincas muestran alta calidad del paisaje en ambas escalas, a 0.5 y 2 km alrededor de la finca.

Relación del paisaje con la riqueza de especies y el gradiente de manejo

Los resultados de las correlaciones que fueron estadísticamente significativas entre el paisaje y la riqueza se expresan en el Cuadro 19.2. Como se muestra, algunos grupos como aves y hongos saprobios aumentan su riqueza conforme aumenta la calidad del paisaje a 0.5 y 1 km alrededor de los puntos de muestreo. Ambos grupos incrementan su riqueza con el aumento en la sombra densa a 0.5 km. Los mamíferos pequeños por el contrario responden al porcentaje de áreas abiertas mostrando una correlación negativa. La riqueza de mamíferos pequeños disminuye conforme aumenta el porcentaje de áreas abiertas 0.5 km alrededor de los puntos. Estos resultados muestran la importancia que tiene el contexto de la finca en incrementar la riqueza de especies dentro de la misma. En el caso de aves, ya un estudio previo registró el efecto en la diversidad de especies de aves del área cubierta por bosque a 1 km de radio (Bennett *et al.* 2004). Shankar-Raman (2006) en la India, documentó que en plantaciones de café y fragmentos de bosque que estaban adyacentes a hábitat con sombra densa o arbolado (generando

Cuadro 19.1. Descripción del paisaje por finca, 2 km alrededor de los puntos permanentes, utilizando el porcentaje área ocupada por áreas abiertas, sombra incipiente, sombra intermedia y sombra densa. El orden en que aparecen las fincas es de mayor a menor calidad del paisaje, según el índice de calidad calculado.

Nombre del sitio	Índice de calidad a 2km	Porcentaje de áreas abiertas	Porcentaje de áreas con sombra densa	Porcentaje de áreas con sombra incipiente	Porcentaje de áreas con sombra intermedia	Fuente de mayor presión urbana
ESM	325.6	17.91	66.71	5.33	10.05	Coatepec, La Laguna y La Libertad
ALU	314.6	12.89	50.07	9.65	27.39	Coatepec, Zimpizahua, San Marcos de León y Las Puentes
ZOP	309.8	5.69	43.60	22.40	28.31	Las Lomas y El Grande
ONZ	299.4	14.12	42.80	15.18	27.89	Coatepec, San Marcos de León y Las Puentes
AUR	299.3	9.03	37.62	20.22	33.13	Ocotitlán y Zacamitla
MTZ	295.1	10.86	42.51	25.67	20.96	La Alborada y Bella Esperanza
VCS	294.1	10.51	35.27	20.12	34.10	El Mirador, El Olvido Oteapa
SOL	294.1	9.74	35.79	22.23	32.24	Teocelo
VSE	282.1	12.92	30.37	22.42	34.29	El Mirador y El Olvido
MOR	280.8	10.15	26.15	25.05	38.65	Ocotitlán y Zacamitla
CAÑ	280.2	7.52	25.98	30.77	35.73	Huatusco
ARM	279.6	12.43	31.82	27.31	28.44	La Alborada y Bella Esperanza
VBM	277.6	14.53	29.76	23.08	32.63	El Mirador y Mata Oscura
MIR	276.6	17.27	31.19	20.07	31.47	El Suchil, Santa Rita y El Mirador
MAS	275.6	4.18	13.24	29.32	53.26	Coatepec
AXO	253.7	14.79	13.95	30.67	40.59	Potrerillo, Zacamitla y Presidio.
PAN	250.0	22.77	20.31	24.80	32.12	Coatepec y Zimpizahua
PAR	230.0	41.90	28.00	14.20	15.90	Xalapa
ORD	206.6	33.21	6.58	33.56	26.64	Pacho Viejo, La Laguna y la Orduña

Cuadro 19.2. Coeficientes de correlación Spearman entre índices del paisaje a diferentes escalas, porcentajes de tipos de sombra y datos de riqueza de diferentes grupos taxonómicos, sólo se muestran las correlaciones que fueron significativas estadísticamente ($P < 0.05$). Los números entre los paréntesis se refieren al número de muestra N . Los asteriscos se refieren al grado de significancia según se indica * = $P < 0.05$ y ** = $P \leq 0.01$.

	Índice 0.5 km	Índice 1 km	Índice 2 km	Sombra densa 0.5 km	Áreas abiertas 0.5 km	Áreas abiertas 1 km
Índice 0.5 km		0.61**(19)	0.54*(19)			
Índice 1 km			0.73**(19)			
Aves	0.53* (21)	0.45* (21)		0.61** (21)		
Hongos saprobios	0.82* (7)	0.85* (7)		0.85* (7)		
Mamíferos pequeños					-0.61* (13)	
Murciélagos						0.78*(9)

más conectividad) contenían más especies típicas e individuos de bosque que los sitios que no tenían dicha conectividad.

Otra correlación interesante es la de murciélagos, que incrementan su riqueza de especies conforme aumenta el porcentaje de áreas abiertas 1 km alrededor de los puntos de muestreo. Esta correlación puede deberse a factores asociados a los sitios abiertos. Por

ejemplo, fragmentos de fincas de café de sombra rodeadas de sitios abiertos pueden ser elementos claves en las rutas de vuelo de murciélagos y por ello habrá más concentración de organismos en estas fincas, que en aquellas donde existen muchos más fragmentos arbolados en donde pueden distribuirse. Sin embargo, cuando sacamos las especies de murciélagos generalistas de los datos de riqueza esta correlación ya no es

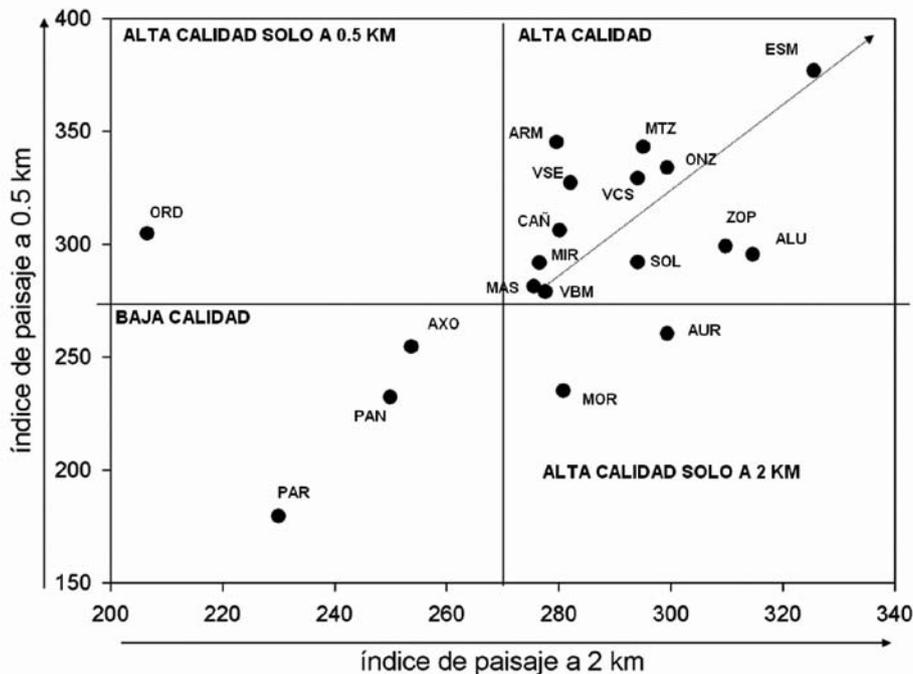


Figura 19.3. Gráfica que muestra los sitios de estudio en un gradiente de calidad del paisaje en dos escalas: 0.5 y 2 km alrededor de los puntos permanentes de muestreo. En el primer cuadrante se encuentran los sitios que tienen menor calidad del paisaje en ambas escalas, los cuadrantes de las esquinas se refieren a sitios que tienen buena calidad del paisaje pero solo en una escala y en la otra no. El último cuadrante se refiere a sitios que tienen mayor calidad del paisaje en las dos escalas, existiendo dentro de este un gradiente de menor a mayor (indicado por la flecha) calidad del paisaje.

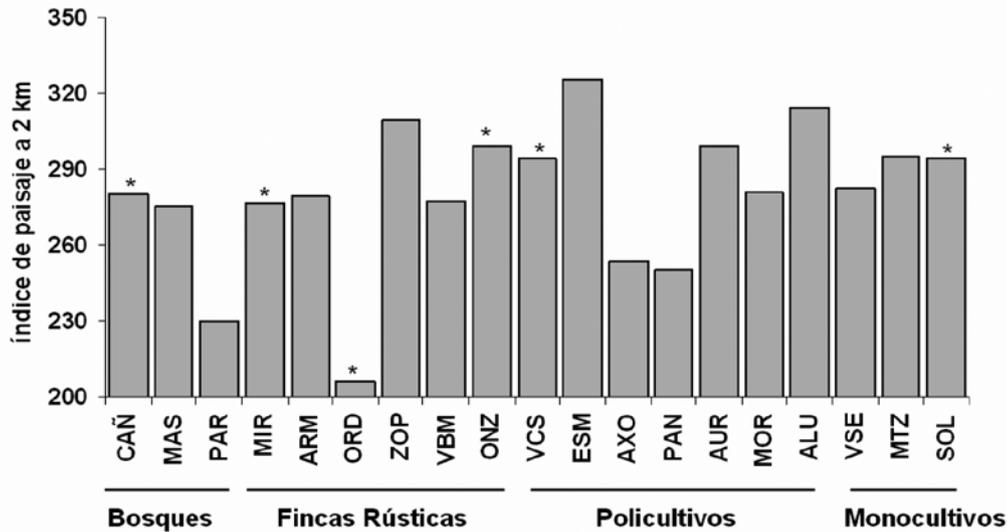


Figura 19.4. Relación entre el gradiente de manejo (Capítulo 2) y el índice de calidad del paisaje 2 km alrededor de los puntos permanentes de muestreo de la biodiversidad, los asteriscos indican los seis sitios obligatorios de estudio.

significativa, por lo que se debe tener cautela cuando se utiliza la riqueza de especies como indicador; se deben considerar grupos de especies que comparten preferencias de hábitat dentro de los grupos taxonómicos para relacionarlos con variables de manejo y estructura y paisaje de las fincas.

No se encontró una correlación significativa entre los índices de calidad del paisaje y los índices de estructura y manejo dentro de las fincas ($P > 0.05$), como se observa en la Figura 3.4, donde se muestra la relación del índice de calidad del paisaje a 2 km y el gradiente de manejo o agrupamiento por tipo de fincas que se derivó de otro estudio (Capítulo 2). Esta relación muestra cómo los sitios que tienen menor intensidad de manejo, incluyendo los sitios de bosques, no necesariamente tienen un mejor paisaje y viceversa. Por ejemplo, la finca SOL es de los sitios con una calidad del paisaje media aun cuando es el extremo del gradiente de manejo (Cuadro 19.1).

RECOMENDACIONES

La determinación de la calidad de los paisajes de los sitios de estudio en este capítulo es solo una de las muchas formas de estimar qué tan buena es la matriz en la que está inmerso un sitio. En este capítulo se mostró que los índices de calidad del paisaje obtenidos de un índice de verdor pueden proveer de una técnica

exploratoria sencilla para determinar la calidad de la matriz y sirven para entender otros factores además del manejo y el hábitat que pueden estar afectando la biodiversidad de las fincas de café.

Fincas de café pequeñas con un manejo menos intenso y una estructura de vegetación más compleja y diversa, pueden estar inmersas en una matriz de paisaje muy perturbada (por ejemplo, rodeadas de cultivo de caña), por lo que pueden presentar poca diversidad de algunos grupos taxonómicos (p. ej. la finca PAN). Fincas de café con un manejo relativamente intenso y una estructura de vegetación menos compleja y diversa que están inmersas en un paisaje con alta calidad, pueden registrar medianos y altos niveles de biodiversidad de algunos grupos de organismos, como es el caso de la finca ESM. Sin embargo, las fincas que tengan una estructura de vegetación más compleja (más estratos de vegetación, más diversidad de plantas nativas, árboles más altos, etc.), y además tengan una buena calidad del paisaje estarán conservando la diversidad de un mayor número de grupos de plantas y animales, y serán la situación óptima en términos de la conservación y en términos de los servicios ambientales para la finca. De este estudio exploratorio del paisaje se pueden derivar las siguientes recomendaciones generales:

- Para los cafeticultores, este estudio resalta la importancia de considerar además de un manejo de la finca más favorable para la biodiversidad, el

tipo de uso de suelo que rodea sus fincas, sobre todo cuando buscan una certificación de café amigable con las aves o que protege la biodiversidad, y cuando buscan el pago por servicios ambientales, ya que fincas de café rústicas o los fragmentos y remanentes de bosque brindan servicios ambientales a los cafetales (biodiversidad, resistencia a plagas, etc.). Se ha documentado que la productividad de las fincas depende de presencia de polinizadores que son más abundantes en paisajes de mayor calidad.

- Las asociaciones de cafecultores vecinos que comparten estrategias de manejo en el arbolado de las fincas pueden crear paisajes atractivos para la biodiversidad, especialmente de especies que tienen mucha movilidad (aves, mamíferos y murciélagos).
- Para los tomadores de decisiones es importante considerar una planeación regional del tipo de uso de suelo que tome en cuenta la importancia de la heterogeneidad y conectividad en los paisajes dominados por agroecosistemas de sombra con remanentes de bosque mesófilo. Por ejemplo, el estímulo gubernamental para establecer monocultivos sin sombra (caña, maíz, etc.) en las regiones cafetaleras puede desencadenar cambios en el paisaje con consecuencias negativas para la biodiversidad y los servicios ambientales, impactando también en la economía y calidad de vida de las poblaciones humanas que ahí habitan.
- El establecimiento de programas institucionales y de gobierno a nivel de cuencas, ecosistemas y paisajes, constituirían las herramientas más apropiadas para conservar y restaurar la biodiversidad y los servicios ambientales, ya que consideran todas las interrelaciones biológicas, económicas y sociales en torno al manejo de las áreas urbanas, los agroecosistemas y los fragmentos de bosque que aún existen.

REFERENCIAS

- Altieri MA. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74:19–31.
- Armbrecht I, Perfecto I. 2003. Litter-twig dwelling ant species richness and predation potential within a forest fragment and neighboring coffee plantations of contrasting habitat quality in Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97:107–115.
- Bennett AF, Hinsley SA, Bellamy PE, Swetnam RD, Mac Nally R. 2004. Do regional gradients in land-use influence richness, composition and turnover of bird assemblages in small woods? *Biological Conservation* 119:191–206.
- Grodecki J. 2001. *Ikonos stereo feature extraction – RPC approach*. Proc. ASPRS Annual Conference, St. Louis, p. 23–27.
- Guerry AD, Hunter ML Jr. 2002. Amphibian distributions in a landscape of forests and agriculture: an examination of landscape composition and configuration. *Conservation Biology* 16:745–754.
- Klein AM, Steffan-Dewenter I, Tschamtker T. 2003. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society of London* 270:955–961.
- Moguel P, Toledo V. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13:11–21.
- Muñoz-Villiers LE, López-Blanco J. 2007. Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico. *International Journal of Remote Sensing* (29:71–93).
- Palacio-Prieto JL, Bocco G, Velázquez A, Mas JF, Takaki-Takaki F, Victoria A, Luna-González L, Gómez-Rodríguez G, López-García J, Palma M, Trejo-Vázquez I, Peralta A, Prado-Molina J, Rodríguez-Aguilar A, Mayorga-Saucedo R, González F. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Boletín del Instituto de Geografía-UNAM* 43:183–203.
- Perfecto I, Rice RA, Greenberg R, Van der Voort ME. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46:598–608.
- Perfecto I, Vandermeer J. 2002. Quality of Agroecological Matrix in a Tropical Montane Landscape: Ants in Coffee Plantations in Southern Mexico. *Conservation Biology* 16:174–182.
- Pineda E, Halffter G. 2004. Species diversity and habitat fragmentation: frogs in a tropical montane landscape in Mexico. *Biological Conservation* 117:449–508.
- Ricketts TH. 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology* 18:1262–1271.
- Ricketts TH, Daily GC, Ehrlich PR, Michener CD. 2004. Economic value of tropical forest to coffee production. *PNAS* 101:12579–12582.
- Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA SP-351 I*: 309–317.
- SIAP. 2005. Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>. Consultado en Mayo del 2006

- Shankar-Raman TR. 2006. Effects of habitat structure and adjacent habitats on birds in tropical rainforest fragments and shaded plantations in the Western Ghats, India. *Biodiversity and Conservation* 15:1577-1607.
- Southwood RE, Way MJ. 1970. Ecological background to pest management. En: Rabb RC, Guthrie FE, editores. *Concepts of Pest Management*. North Carolina State University: Raleigh, NC, p. 6-29.
- Östman Ö, Ekblom B, Bengtsson J. 2001. Landscape heterogeneity and farming practice influence biological control. *Basic and Applied Ecology* 285:893-895.
- Thies C, Tschardtke T. 1999. Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285:893-895.
- Tschardtke AM, Kruess A, Steffan-Dewenter I, Thies C. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. *Ecology Letters* 8:857-874.
- Weibull AC, Östman Ö, Granqvist Å. 2003. Species richness in agroecosystems: the effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiversity and Conservation* 12:1335-1355.
- Williams-Guillén K, McCann C, Martínez-Sánchez JC, Koontz F. 2006. Resource availability and habitat use by mantled howling monkeys in a Nicaraguan coffee plantation: can agroforests serve as core habitat for a forest mammal? *Animal Conservation* 9:331-338.

Indicadores ecológicos multi-taxonómicos

CÉSAR TEJEDA-CRUZ, KLAUS MEHLTRETER Y VINICIO J. SOSA

Resumen

Entre los impactos más importantes del desarrollo económico-social está la modificación de las funciones del ecosistema y de sus servicios ambientales y la pérdida de biodiversidad. En este capítulo utilizamos el método del Valor Indicador para investigar cuáles especies son indicadoras ecológicas de los hábitat, resultado de diferente manejo o grado de conservación, de cinco fincas cafetaleras y un fragmento de bosque mesófilo de montaña. Las especies pertenecen a cinco grupos biológicos (aves, epífitas, helechos, hormigas y mamíferos pequeños) que fueron muestreados en 10 puntos distribuidos en cada sitio. De las 331 especies registradas, 34 fueron indicadoras y 50 detectoras. Los mamíferos y los helechos proporcionaron los mayores porcentajes de especies indicadoras (40% y 15%, respectivamente) y las aves y epífitas los menores porcentajes (6.9 y 8.2%, respectivamente). El mayor número de especies indicadoras se asoció con los extremos del gradiente de manejo (bosque mesófilo y café a sol). La identificación cuantitativa de especies indicadoras del fragmentado bosque mesófilo de montaña puede aportar a su futuro manejo. Se discute la utilidad de usar varios grupos taxonómicos, el que sean muy o poco diversos, y cuál grupo resulta mejor indicador con base al número de especies indicadoras y los requerimientos ambientales de las mismas.

Abstract

Among the main impacts of socio-economical development are the modification of ecosystem functions and environmental services, and the loss of biodiversity. In this chapter we used the Indicator Value method to investigate which species are ecological indicators of the different habitats that resulted from different management intensity in five coffee farms and one cloud forest fragment. We used species from five different taxonomic groups (ants, birds, epiphytes, ferns, and small mammals) which were sampled in ten points at each study site. We detected 34 indicator and 50 detector species out of a total of 331 species. Small mammals and ferns held the highest percentages of indicator species (40 and 15% respectively), and birds and epiphytes had the lowest proportions (6.9 y 8.2%, respectively). A high number of indicator species was associated with the extremes of the management gradient (montane forest and sun coffee). We provide a quantitative identification of indicator species for the highly fragmented montane forest remnants that are useful for future management actions. We discuss the advantages of using several taxonomic groups, whether they have high or low diversity, and which group is the best indicator based on the number of indicator species and their environmental requirements.

INTRODUCCIÓN

Entender la magnitud en la cual los sistemas ecológicos están experimentando perturbación antropogénica y cambios en su estructura y funcionalidad es crítico para la conservación de la biodiversidad a largo plazo (Canterbury *et al.* 2000, Caro 2000). Dada la velocidad con la que ocurren estos cambios, es urgente desarrollar métodos confiables, rápidos y de bajo costo para seleccionar especies y/o ensambles de especies para el monitoreo de los cambios ambientales y ecológicos (Kremen 1992, McGeoch 1998). Como una solución a esta problemática, se ha propuesto que los esfuerzos de conservación y manejo se enfoquen en una o un número reducido de especies que funcionen como sucedáneos o indicadores ambientales bajo el supuesto de que la respuesta al cambio de estas especies es representativa de la respuesta de otras especies en un hábitat o comunidad (Noss 1990, Caro y O'Doherty 1999, Andelman y Fagan 2000, Canterbury *et al.* 2000, Caro 2003). Las especies indicadoras, según la definición de Landres *et al.* (1988), son organismos cuyas características (p. ej. presencia, abundancia, densidad, etc.) pueden ser usadas como un criterio para evaluar atributos que son muy difíciles, caros o inconvenientes de medir para otras especies o condiciones ambientales de interés. Las especies indicadoras han sido clasificadas en tres categorías (McGeoch 1998, 2002). Indicadores ambientales, que reflejan directamente el estado abiótico o biótico del ambiente; indicadores ecológicos, que reflejan el impacto de cambios ambientales sobre un hábitat, comunidad o ecosistema; e indicadores de biodiversidad, que son indicativos de un taxa, o de toda la biodiversidad, en un área definida.

Sin embargo, hay incertidumbres relacionadas con el uso de un número reducido de indicadores (Soberón *et al.* 2000). Roberge y Angelstam (2004) señalan que el uso de una sola especie como representativa de la diversidad biótica de un área dada no puede asegurar la conservación de todas las especies coexistentes y que las especies de un taxón determinado no son representativas de los conjuntos de otros taxa. Otros autores han concluido que el uso de especies únicas no se considera apropiado para indicar cambios en el hábitat porque las diferencias específicas en dispersión, requerimientos de hábitat y respuesta a cambios en cada especie, limitan la habilidad de un taxón para actuar como un indicador adecuado para otros taxa (Noss

1990, Stotz *et al.* 1996, Canterbury *et al.* 2000, Lindenmayer *et al.* 2002). Adicionalmente se ha señalado que no hay evidencia que indique que el uso de especies sucedáneas tenga utilidad alguna para la conservación de la biota regional (Andelman y Fagan, 2000). Las mismas limitaciones pueden existir si se usa un grupo taxonómico único. Actualmente se debate el supuesto de que taxa diferentes tengan patrones congruentes de riqueza de especies, pues se han reportado patrones contrastantes en cuanto al valor de taxa indicadores de biodiversidad. Lo anterior conduce a la necesidad de integrar el principio de complementariedad a la metodología empleada para evaluar un indicador (Kati *et al.*, 2004). Esto ha resultado en un cambio reciente hacia un enfoque de comunidades ecológicas, que reconoce la importancia del mantenimiento de las relaciones y procesos funcionales en los ecosistemas (Smith *et al.* 2005). Sin embargo, los estudios que consideran más de una especie son relativamente escasos. Muchos de estos estudios se han enfocado a reglas de ensamblaje de comunidades (Williams *et al.* 2002) y, en el caso de indicadores, a indicadores de biodiversidad (Kotze y Samways 1999, Kati *et al.* 2004, Thomson *et al.* 2005, Tognelli 2005), pero los resultados han sido ambiguos (Kati *et al.* 2004).

Nuestro sitio de estudio, la zona montañosa del centro de Veracruz, tiene una larga historia de perturbaciones antropogénicas y ofrece un paisaje formado por un mosaico de parches de vegetación natural y diversos usos del suelo. Esta heterogeneidad espacial conforma un gradiente de perturbación que facilita el estudio de la respuesta de ensambles de especies a cambios estructurales de los ecosistemas en una escala local. Nuestro estudio se enfoca a indicadores ecológicos y propone encontrar un ensamble de especies de cinco grupos taxonómicos, que refleje el impacto de cambios ambientales a lo largo de un gradiente de manejo cafetalero. Idealmente estos indicadores servirán para evaluar tanto la calidad de los sistemas conservados, como el grado de perturbación de los ecosistemas transformados.

Para el análisis de los indicadores ecológicos, seguimos la definición de McGeoch (1998), enfocando la investigación en la respuesta del organismo a cambios en el hábitat, excluyendo cualquier supuesto de la representatividad de su respuesta para otros taxa presentes en el mismo hábitat. Algunos de los métodos tradicionales para seleccionar especies indicadoras (p. ej. pruebas de I, análisis de correspondencia,

Twinspan) han sido criticados porque no producen especies indicadoras de manera objetiva, ni espacialmente explícita (Dufrene y Legendre 1997, McGeoch *et al.* 2002). Se propone entonces usar el método Valor Indicador (Indicator Value - IndVal) que ha de resolver estos problemas (Dufrene y Legendre 1997). El método IndVal se basa en el grado de especificidad (exclusividad a un hábitat particular), y el grado de fidelidad (frecuencia de ocurrencia dentro del mismo hábitat), ambos medidos de manera independiente para cada especie y expresados como un porcentaje. A mayor porcentaje, mayor será el valor de especificidad y fidelidad para cada especie y mayor será su ocurrencia en las muestras de un hábitat particular. Las especies con un valor alto se consideran mejores indicadoras porque tienen mayores probabilidades de ser detectadas en contraste con las especies que sean raras. Las especies con valores intermedios pueden servir como “detectoras” ya que proveen información de más de un hábitat y pueden dar nociones de la dirección de los cambios en la calidad del hábitat (grado de conservación o grado de perturbación).

Los objetivos de este estudio fueron los siguientes: 1) Conocer cómo diferentes grupos taxonómicos responden a un gradiente de manejo cafetalero; 2) Evaluar la utilidad de diferentes grupos taxonómicos como indicadores y detectores de manejo y calidad del hábitat; 3) Estudiar la sensibilidad del Valor Indicador (IndVal) a la abundancia de las especies; y 4) Recomendar grupos o especies indicadoras para su futura utilización en estudios ambientales similares.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se analizaron los datos de los cinco grupos taxonómicos (aves, epífitas, helechos, hormigas y mamíferos pequeños) cuyo esfuerzo de muestreo incluyó todos los puntos en cada sitio. Los muestreos se realizaron utilizando técnicas estándares para cada grupo en cinco fincas cafetaleras y un fragmento de bosque mesófilo que representan el gradiente de manejo en el paisaje cafetalero del centro de Veracruz. Los métodos específicos para cada grupo pueden ser consultados en los capítulos correspondientes. Se incluyeron seis sitios en este análisis: Las Cañadas (CAÑ), El Mirador (MIR), La Orduña (ORD), La Onza (ONZ), De la Vequia – sombra especializada (VSE), y Teocelo Sol (SOL).

Estos sitios representan un gradiente de manejo y complejidad que va desde bosque mesófilo (CAÑ), hasta café de sol (SOL), pasando por diferentes manejos de sombra (Capítulo 2).

La utilidad de cada especie como indicador ecológico, medido de manera independiente, fue evaluada por el método Valor Indicador (IndVal) propuesto por Dufrene y Legendre (1997). Este índice se calcula con la siguiente fórmula:

$$A_{ij} = N_{\text{individuos}_{j_i}} / N_{\text{individuos}_i}$$

en donde A_{ij} es una medida de especificidad, $N_{\text{individuos}_{j_i}}$ es el número promedio de individuos de la especie i en todos los sitios del grupo j , y $N_{\text{individuos}_i}$ es la suma de los números promedios de individuos de la especie i en todos los grupos;

$$B_{ij} = N_{\text{sitios}_{j_i}} / N_{\text{sitios}_i}$$

en donde B_{ij} es una medida de fidelidad, $N_{\text{sitios}_{j_i}}$ es el número de sitios en el grupo j en donde la especie i está presente, mientras que N_{sitios_i} es el número total de sitios en ese grupo.

Por lo tanto, el porcentaje de valor indicador (IndVal) para la especie i en el grupo j es:

$$\text{IndVal}_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$$

La significancia estadística de los valores indicadores se midió utilizando métodos iterativos al azar reasignando 10,000 veces las muestras dentro de los grupos de muestras. Las especies se asignaron al sitio en donde obtuvieron el valor indicador más alto. Las especies con valor IndVal igual o superior a 50 fueron consideradas indicadoras de ese sitio particular, mientras que las especies con valor IndVal menor a 50, pero mayor o igual a 25 se consideraron especies “detectoras”. Estas especies detectoras pueden responder mejor a cambios ambientales ya que generalmente proveen información para más de un hábitat.

Para comparar la abundancia de las especies en los grupos taxonómicos se utilizaron gráficos de rango-abundancia (Feinsinger 2001), indicando el valor de indicador de cada especie para analizar visualmente la relación entre la abundancia de las especies y su utilidad como indicadores ecológicos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Del total de 332 especies consideradas en este estudio, el 10.2% fueron indicadoras y el 15.1% detectoras para alguno de los cafetales o el control de bosque. Este resultado señala que una cuarta parte de las especies tienen el potencial para indicar diferencias entre los sitios estudiados. Sin embargo, hay que considerar que estos resultados podrían cambiar con la inclusión de un mayor número de sitios y de un número superior de tipos de manejo. Se esperaría que disminuyera el número de especies indicadoras, porque ahora resultarán típicas para un grupo de sitios en vez de una sola área de estudio. Sin embargo, también es de esperarse que algunas especies sean robustas al incremento de sitios y se mantengan como buenas indicadoras.

De los cinco grupos de organismos incluidos, los mamíferos pequeños y los helechos fueron los que tuvieron un mayor número de especies indicadoras y detectoras, mientras que las aves y plantas epífitas tuvieron las menores proporciones de especies indicadoras (Cuadro 20.1). En el caso de los mamíferos pequeños no hay que sobrevaluar este resultado, porque el alto porcentaje de indicadoras (40%) podría ser el simple resultado del bajo número de especies encontradas en todos los sitios (5 especies). No obstante, la especificidad de estas especies sugiere que pudieran ser potencialmente buenas indicadoras de perturbación. Las frecuencias de especies indicadoras y detectoras entre grupos de organismos no fueron significativamente diferentes ($\chi^2 = 8.5041$, $gl = 6$, $P = 0.20$, excluyendo los mamíferos del análisis por presentar frecuencias < 5). Es decir que se puede hablar de un porcentaje promedio general de los cinco grupos estudiados de 10.2% de especies indicadoras y 15.1% especies detectoras, para la zona del estudio.

Sin embargo, los helechos son un grupo de organismos de excelente calidad para la indicación de condiciones ambientales únicas de cada sitio, sea del grado de conservación o perturbación del hábitat. De las 60 especies de helechos halladas, 9 especies fueron indicadoras y 12 especies detectoras. De las nueve especies indicadoras, cinco fueron del bosque, dos del café de sol, y una de los cafetales MIR y ONZ, respectivamente (Apéndice 20.1). Esto señala que los helechos son muy sensibles a los cambios de luz, y que existen especies que solo crecen bajo condiciones de sombra del bosque (*Polypodium plebeium*, *P. longepinnulatum*), o que simplemente son cortadas en los cafetales como los helechos de hojas muy largas (*Pteris orizabae*) o arborescentes (*Alsophila firma*) con sus epífitas específicas (*Trichomanes capillaceum*), mientras que las especies indicadoras de café a sol son helechos epífitas (*Polypodium pyrrolepis* y *Pleopeltis crassinervata*) que requieren de una fuerte iluminación. Las dos especies con valor de indicación alto en los cafetales MIR (*Thelypteris dentata*) y ONZ (*Pleopeltis angusta*) son típicas de áreas perturbadas, pero faltan en los ambientes extremos de sol y de bosque; esto sugiere que pueden ser utilizadas como indicadoras de perturbación en cafetales estructuralmente diversos.

La metodología del IndVal es sensible a la abundancia de las especies. En las figuras de rango-abundancia se puede apreciar que casi ninguna especie rara llega a ser buena indicadora, especialmente para los grupos de epífitas y helechos (Figura 20.1). Esto es consecuencia de la fidelidad exigido por el IndVal para que una especie sea una buena indicadora. La fidelidad es alta cuando una especie se encuentra en todas las muestras de un sitio, pero este requerimiento nunca podrá ser cumplido por una especie rara. Esto significa que especies raras que sean específicas del bosque no se

Cuadro 20.1. Riqueza de especies, y número y porcentaje de especies indicadoras (Ind) y especies detectoras (Det) por cada grupo taxonómico analizado en las seis fincas.

Grupo de organismos	Riqueza	Ind	Det	% Ind	% Det
Hormigas	107	11	10	10.3	9.3
Aves	87	6	17	6.9	19.5
Epífitas	73	6	10	8.2	13.7
Helechos	60	9	12	15.0	20.0
Mamíferos pequeños	5	2	1	40.0	20.0
Total	332	34	50	10.2	15.1

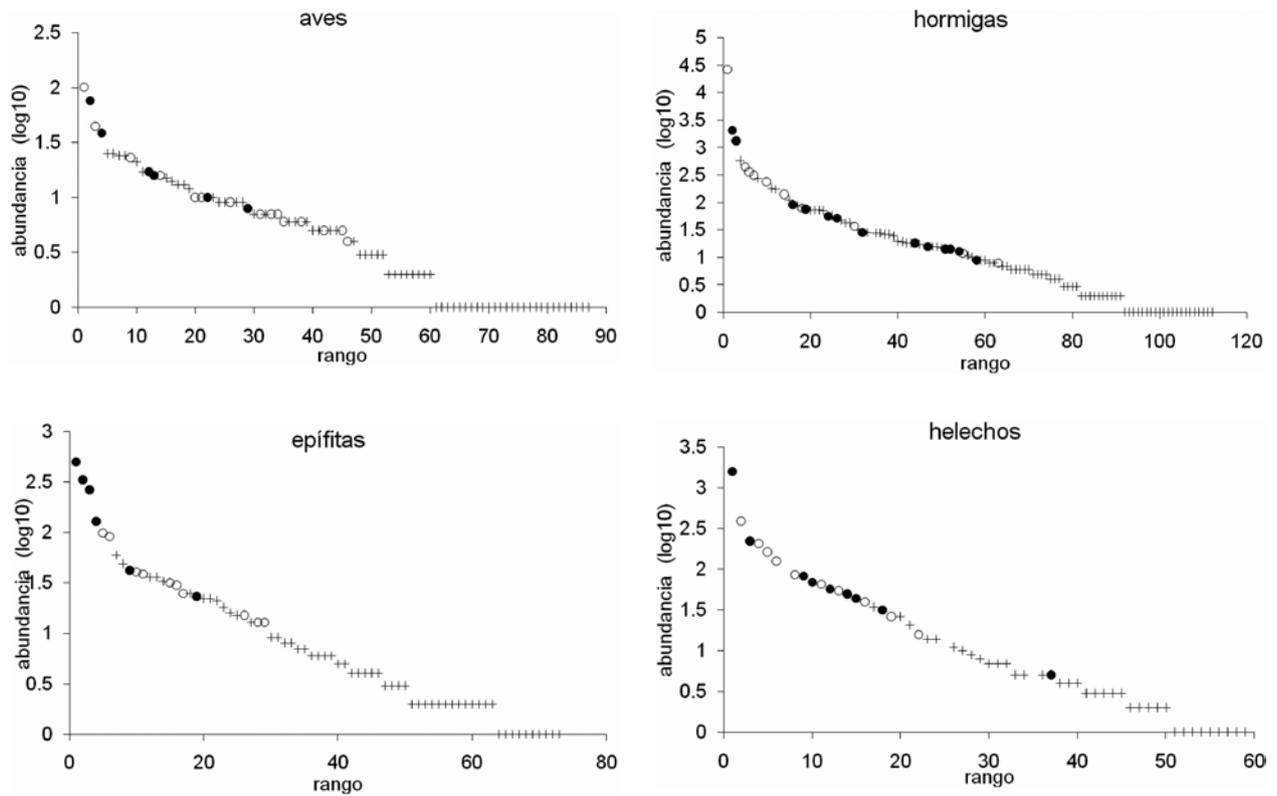


Figura 20.1. Distribución de las especies indicadoras (IndVal ≥ 50 , círculos negros), especies detectoras (IndVal ≥ 25 , círculos blancos) y especies no detectoras (IndVal < 25 , cruces) ordenados descendientemente por abundancia y por grupo taxonómico: a) Aves, b) hormigas, c) epífitas, d) helechos. No se incluyeron a los mamíferos pequeños por tener un número de registros muy reducido.

calificarán con altos valores IndVal porque, aunque su presencia indicará a un bosque, su ausencia no permite distinguir entre la falta por las condiciones inadecuadas del sitio o simplemente por su rareza. Por otro lado, las especies más abundantes no son necesariamente las mejores indicadoras. La especie más abundante de aves (*Chlorospingus ophthalmicus*) y hormigas (*Solenopsis geminata*) tiene un IndVal relativamente bajo, debido a que son especies abundantes en todos los hábitat forestales (bosque-cafetales de sombra), con lo que su fidelidad para cada uno de los hábitat es muy baja.

El mayor número de especies indicadoras ocurrió en los dos extremos del gradiente de manejo. El sitio de bosque de Las Cañadas (CAÑ) y la finca Teocelo Sol (SOL) tuvieron 8 especies indicadoras cada una (Apéndice 20.1). La finca con el sistema de manejo estructuralmente más complejo (MIR – café rústico) presentó también un elevado número de especies indicadoras (7 spp). Esto refleja una sustitución de especies

a lo largo del gradiente. En nuestro estudio, muchas de las especies abundantes en los extremos (bosque y café a sol) no ocurren u ocurren en números muy bajos en el resto del gradiente.

RECOMENDACIONES

Se recomienda monitorear las especies y grupos taxonómicos indicadores, especialmente los helechos y posiblemente los mamíferos pequeños de manera regular y a largo plazo. El monitoreo permanente de los IndVal de estas especies indicadoras puede alertar sobre cambios en el bosque o cafetales de sombra (si se detecta un incremento en las especies indicadoras de café a sol). Por otro lado, el incremento de las especies indicadoras de bosque en cafetales de sombra puede servir para evaluar las acciones de manejo en los cafetales. Se recomienda la observación de las especies detectoras para señalar cambios graduales en los sitios

intermedios del gradiente de manejo. Las especies con IndVal alto son por lo general abundantes y fáciles de detectar e identificar así que su monitoreo es viable. Se recomienda el uso de múltiples especies o grupos taxonómicos indicadores para simplificar los criterios de certificación del café “amigable” con la biodiversidad por la consiguiente reducción en costos asociados a la certificación actual. Sin embargo, son necesarios más estudios para confirmar que las especies indicadoras de este estudio sean las apropiadas para otras zonas y tipos de manejo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos los investigadores involucrados en el proyecto Biocafé por compartir sus datos para este análisis.

REFERENCIAS

- Andelman SJ, Fagan WF. 2000. Umbrellas and flagships: Efficient conservation surrogates or expensive mistakes? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 97:5954-5959.
- Canterbury GE, Martin TE, Petit DR, Petit LJ, Bradford DF. 2000. Bird communities and habitat as ecological indicators of forest condition in regional monitoring. *Conservation Biology* 14:544-558.
- Caro TM. 2000. Focal species. *Conservation Biology* 14:1569-1570.
- Caro TM. 2003. Umbrella species: critique and lessons from East Africa. *Animal Conservation* 6:171-181.
- Caro TM, O'Doherty G. 1999. On the use of surrogate species in conservation biology. *Conservation Biology* 13:805-814.
- Dufrene M, Legendre P. 1997. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67:345-366.
- Feinsinger, P. 2001. *Designing field studies for biodiversity conservation*. The Nature Conservancy and Island Press. Washington, DC. 219 p.
- Kati V, Devillers P, Dufrene M, Legakis A, Vokou D y Lebrun P. 2004. Testing the value of six taxonomic groups as biodiversity indicators at a local scale. *Conservation Biology* 18: 667-675.
- Kotze DJ, Samways MJ. 1999. Support for the multi-taxa approach in biodiversity assessment, as shown by epigeic invertebrates in an Afromontane forest archipelago. *Journal of Insect Conservation* 3:125-143.
- Kremen C. 1992. Assessing the indicator properties of species assemblages for natural areas monitoring. *Ecological Applications* 2:203-217.
- Landres PB, Verner J, Thomas JW. 1988. Ecological uses of vertebrate indicator species: a critique. *Conservation Biology* 2:316-328.
- Lindenmayer DB, Manning AD, Smith PL, Possingham HP, Fischer J, Oliver I, McCarthy MA. 2002. The focal-species approach and landscape restoration: a critique. *Conservation Biology* 16: 338-345.
- McGeoch MA. 1998. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews*. 73:181-201.
- McGeoch MA. 2002. Bioindicators. In: Sons JW, editor. *Encyclopedia of Environmetrics* Vol. 1. Chichester. p. 186-189.
- McGeoch MA, Van Rensburg BJ, Botes A. 2002. The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles in a savanna ecosystem. *Journal of Applied Ecology* 39:661-672.
- Noss RF. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology* 4:355-364.
- Roberge JM, Angelstam P. 2004. Usefulness of the umbrella species concept as a conservation tool. *Conservation Biology* 18:76-85.
- Smith WP, Gende SM, Nichols JV. 2005. The Northern Flying Squirrel as an Indicator Species of Temperate Rain Forest: Test of an Hypothesis. *Ecological Applications* 15:689-700.
- Soberón J, Rodríguez P, Vázquez-Domínguez E. 2000. Implications of the Hierarchical Structure of Biodiversity for the Development of Ecological Indicators of Sustainable Use. *Ambio* 29:136-142.
- Stotz DF, Fitzpatrick JW, Parker III TA, Moskovits DK. 1996. *Neotropical birds: ecology and conservation*. Chicago: The University of Chicago Press. 478 p.
- Thomson JR, Fleishman E, Mac Nally R, Dobkin DS. 2005. Influence of the temporal resolution of data on the success of indicator species models of species richness across multiple taxonomic groups. *Biological Conservation* 124:503-518.
- Tognelli MF. 2005. Assessing the utility of indicator groups for the conservation of South American terrestrial mammals. *Biological Conservation* 121:409-417.
- Williams SE, Marsh H, Winter J. 2002. Spatial scale, species diversity, and habitat structure: small mammals in Australian tropical rain forest. *Ecology* 83: 1317-1329.

APÉNDICE 20.1. ESPECIES INDICADORAS (INDVAL ≥ 50) Y DETECTORAS (INDVAL ≥ 25) ORDENADOS DE MAYOR A MENOR INDVAL DE CADA SITIO.

Taxón	Especies	SOMBRA					SOL
		BOSQUE			CAFÉ		SOL
		CAÑ	MIR	ORD	ONZ	VSE	
Aves	<i>Carduelis psaltria</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	97.4
Aves	<i>Volatinia jacarina</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	97.4
Helechos	<i>Pteris orizabae</i>	90.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Helechos	<i>Polypodium plebeium</i>	88.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Epífitas	<i>Tillandsia juncea</i>	0.4	1.6	86.9	6.5	0.0	0.0
Hormigas	<i>Camponotus abscisus</i>	0.0	3.2	82.5	2.1	0.0	0.0
Mamíferos pequeños	<i>Oryzomys fulvescens</i>	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0	77.1
Hormigas	<i>Crematogaster cf stollii</i>	0.0	0.0	0.7	76.5	0.0	0.1
Epífitas	<i>Tillandsia fasciculata</i>	0.1	75.5	1.4	0.0	0.0	0.0
Epífitas	<i>Tillandsia schiedeana</i>	0.0	8.2	74.3	12.3	0.0	0.0
Hormigas	<i>Monomorium sp 1</i>	0.0	0.0	0.6	0.0	68.5	0.0
Aves	<i>Tiaris olivacea</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	65.9
Helechos	<i>Thelypteris dentata</i>	0.0	65.2	0.0	0.3	0.3	0.0
Epífitas	<i>Tillandsia foliosa</i>	0.7	0.0	65.0	9.8	0.0	0.0
Hormigas	<i>Crematogaster cf acuta</i>	0.0	64.6	0.0	0.6	0.2	0.0
Hormigas	<i>Brachymyrmex musculus</i>	0.0	0.2	0.1	0.0	63.1	5.6
Mamíferos pequeños	<i>Peromyscus aztecus</i>	0.6	62.2	0.0	0.6	0.0	0.0
Helechos	<i>Pleopeltis angusta</i>	0.0	0.0	1.1	61.6	0.0	32.0
Hormigas	<i>Adelomyrmex tristani</i>	60.7	0.3	0.0	0.0	1.4	5.5
Epífitas	<i>Malaxis densa</i>	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.0
Helechos	<i>Alsophila firma</i>	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Helechos	<i>Polypodium longepinnulatum</i>	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hormigas	<i>Hypoconera opacior</i>	0.0	2.4	8.0	0.3	2.4	57.6
Aves	<i>Sporophila torqueola</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	56.0
Helechos	<i>Polypodium pyrrololepis</i>	0.0	21.0	0.0	1.7	0.4	54.0
Helechos	<i>Pleopeltis crassinervata</i>	0.2	0.2	38.2	7.1	0.1	53.5
Aves	<i>Amazilia candida</i>	0.0	52.5	0.0	1.3	0.0	0.0
Aves	<i>Cyanocompsa parellina</i>	0.0	0.7	51.4	0.0	5.7	0.0
Hormigas	<i>Pseudomyrmex ejectus</i>	0.0	0.0	50.8	0.0	0.0	1.5
Epífitas	<i>Tillandsia viridiflora</i>	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Helechos	<i>Trichomanes capillaceum</i>	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hormigas	<i>Camponotus sp 1</i>	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hormigas	<i>Hypoconera nitidula</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0
Hormigas	<i>Stenammas sp 4</i>	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Helechos	<i>Blechnum occidentale</i>	0.1	49.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Helechos	<i>Adiantopsis radiata</i>	0.0	48.4	0.0	0.0	0.3	0.0
Hormigas	<i>Pheidole cf protensa</i>	0.7	48.1	0.1	20.0	0.5	0.0
Hormigas	<i>Pheidole punctatissima</i>	0.3	1.2	0.0	0.0	47.4	0.0
Hormigas	<i>Pachycondyla harpax</i>	0.0	45.8	0.0	0.0	0.8	0.0
Epífitas	<i>Scaphyglottis livida</i>	0.0	0.0	25.9	44.1	0.0	0.0
Helechos	<i>Blechnum appendiculatum</i>	21.1	0.5	0.0	43.6	0.0	0.0

APÉNDICE 20.1. ESPECIES INDICADORAS (INDVAL ≥ 50) Y DETECTORAS (INDVAL ≥ 25) ORDENADOS DEMAYOR A MENOR INDVAL DE CADA SITIO.
CONTINUACIÓN

Taxón	Especies	SOMBRA					SOL
		BOSQUE		CAFÉ			SOL
		CAÑ	MIR	ORD	ONZ	VSE	
Helechos	<i>Phlebodium areolatum</i>	0.5	4.2	13.8	43.6	0.3	26.7
Aves	<i>Chlorospingus ophthalmicus</i>	13.8	43.0	21.5	9.0	0.6	0.0
Helechos	<i>Pleopeltis fallax</i>	42.2	17.9	0.0	0.6	0.5	9.6
Epífitas	<i>Tillandsia polystachya</i>	0.0	0.1	28.9	40.3	0.0	0.0
Aves	<i>Empidonax occidentalis</i>	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aves	<i>Phaethornis striigularis</i>	0.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Helechos	<i>Asplenium miradoreense</i>	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Helechos	<i>Polypodium falcaria</i>	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hormigas	<i>Linepithema humile</i>	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	39.6
Helechos	<i>Polypodium furfuraceum</i>	0.2	1.0	33.6	9.7	6.8	38.1
Aves	<i>Cyanocorax morio</i>	0.0	7.3	36.8	8.2	8.0	0.5
Aves	<i>Guiraca caerulea</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	35.7
Aves	<i>Henicorhina leucosticta</i>	35.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Aves	<i>Melanerpes aurifrons</i>	0.0	14.7	34.7	0.5	0.0	0.0
Helechos	<i>Macrothelypteris torresiana</i>	0.0	34.7	0.0	1.3	0.0	0.0
Hormigas	<i>Dorymyrmex bicolor</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	34.0
Aves	<i>Quiscalus mexicanus</i>	0.0	0.0	0.0	33.3	1.7	0.0
Aves	<i>Sittasomus griseicapillus</i>	1.7	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Hormigas	<i>Paratrechina steinheili</i>	7.6	32.8	5.0	6.8	3.7	4.3
Epífitas	<i>Maxillaria densa</i>	0.0	7.8	0.0	32.2	0.0	0.0
Aves	<i>Arremonops rufivirgatus</i>	0.0	0.0	2.0	0.0	32.0	0.0
Aves	<i>Xiphorhynchus flavigaster</i>	0.0	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Epífitas	<i>Catopsis sp. 2</i>	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Epífitas	<i>Gonogora truncata</i>	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Epífitas	<i>Tillandsia leiboldiana</i>	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Helechos	<i>Cyathea divergens</i>	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Helechos	<i>Thelypteris imbricata</i>	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	0.0
Helechos	<i>Thelypteris ovata subsp. lindheimeri</i>	0.0	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hormigas	<i>Stenamma sp 2</i>	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mamíferos pequeños	<i>Peromyscus furvus</i>	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hormigas	<i>Solenopsis geminata</i>	0.0	18.7	21.5	18.3	9.9	29.6
Hormigas	<i>Labidus coecus</i>	29.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
Hormigas	<i>Crematogaster cf sumichrasti</i>	0.0	0.0	0.2	1.0	28.3	0.0
Hormigas	<i>Camponotus novogranadensis</i>	0.0	4.4	0.0	28.1	0.0	0.0
Aves	<i>Psarocolius wagleri</i>	0.0	9.0	0.0	28.0	0.0	0.0
Epífitas	<i>Tillandsia punctulata</i>	28.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0
Aves	<i>Amazilia beryllina</i>	1.1	1.1	27.8	0.0	4.4	0.0
Hormigas	<i>Solenopsis sp 1</i>	0.6	16.2	27.7	10.8	0.2	1.8
Hormigas	<i>Pachycondyla ferruginea</i>	0.0	0.0	0.8	27.7	0.0	2.3
Hormigas	<i>Atta cephalotes</i>	0.0	27.1	0.0	0.0	6.4	0.0
Aves	<i>Thryothorus maculipectus</i>	0.0	1.7	26.7	1.7	0.0	0.0
Epífitas	<i>Tillandsia heterophylla</i>	0.3	0.0	21.9	26.6	0.0	0.0
Aves	<i>Psarocolius montezuma</i>	0.0	0.6	26.3	0.0	0.6	0.0
Epífitas	<i>Catopsis sp.</i>	11.2	0.0	25.6	1.6	0.0	0.0
Epífitas	<i>Rhripsalis baccifera</i>	0.0	1.1	25.3	21.1	0.0	0.0

Efectos del manejo sobre la biodiversidad: síntesis y conclusiones

ROBERT H. MANSON, VINICIO J. SOSA Y ARMANDO CONTRERAS HERNÁNDEZ

Resumen

Esta síntesis de los patrones ecológicos y socio-económicos observados en fincas de café del proyecto Biocafé inicia con una revisión de los fundamentos organizacionales (interdisciplinaria, interinstitucional y participativa) y metodológicos (diseño experimental y tamaño de muestreo) del proyecto. Enseguida se interpretan los principales resultados de este proyecto de investigación-acción sobre la participación de los actores sociales relevantes, la biodiversidad y los servicios ambientales y su relación con la problemática del café. Finalmente se concluye con las recomendaciones para el futuro de la cafecultura en investigación y producción. Dentro de éstas, se destaca la importancia de justificar con pruebas de campo la clasificación propuesta en mediciones detalladas de estructura, manejo y perfil social del productor. También se discute la importancia de los proyectos de investigación-acción en el desarrollo de estrategias de manejo sustentable. Se muestra que la mayor riqueza y complementariedad de especies del BMM está en las fincas rústicas, seguidas de los policultivos. Por ello, se recomienda fomentar estas fincas en la creación de paisajes que conserven alta biodiversidad. Desde el análisis del paisaje mantener las fincas rústicas ayudaría también a conservar servicios ambientales importantes como la polinización. En el corto plazo, se recomienda que los productores se enfoquen principalmente en los servicios ambientales que les ayuden a bajar sus costos de producción y mantener su producción del café. Sin embargo, existe un alto potencial en los mercados del café certificado y la diversificación de la finca, estrategias de manejo que son subutilizadas por los productores en la región. Finalmente se resalta la importancia de más colaboraciones entre productores en el desarrollo de estrategias de manejo sustentables que ayuden a lograr un balance entre las tareas de conservación biológica y el bienestar socio-económico en la región centro de Veracruz.

Abstract

This synthesis of the ecological and socio-economic patterns displayed by coffee farms included in the Biocafé project starts with a review of the organizational (interdisciplinary, interinstitutional and participatory) and methodological (experimental design and sample size) basis of the project. This is followed by a brief review of the main results of this exercise in investigation-action including levels of participation of all relevant sectors in the region, and evaluations of the structure (biodiversity) and function (ecosystem services) being maintained in the coffee farms studied and how this information is relevant for meeting the challenges of coffee production in the region. Finally, we conclude with a list of recommendations for future production strategies and investigations of this agroecosystem. These include highlighting the importance of a well-justified classification of coffee production strategies that includes structural, management, and socio-economic information for each farm, as well as the use of investigation-action projects in the development of sustainable management practices.

As rustic and diverse shade polycultures exhibited the highest richness of cloud forest species, these management types should be highlighted in efforts to create landscapes which conserve regional species pools. Such landscapes should also help conserve ecosystem services important in maintaining coffee production such as pollinization. In the short term, a focus on this and other ecosystem services that maintain coffee production and lower production costs may be most useful to coffee growers. However, markets for certified coffee and additional products generated by "diversified" farms also show much promise and are generally under-utilized by growers in the region. Finally, the importance of more collaboration between coffee growers is highlighted as an essential component of efforts to develop sustainable management strategies that help balance conservation efforts with the socio-economic needs of growers in central Veracruz.

EVALUACIÓN CRÍTICA DE LOS MÉTODOS EMPLEADOS Y PERSPECTIVAS PARA ESTUDIOS FUTUROS

El proyecto Biocafé desde la experiencia de trabajo

El objetivo central de Biocafé, visto como un proyecto de largo plazo, es alcanzar la producción sustentable de café, entendida como aquella que se enfoca en la equidad social, que reduce al mínimo o revierte la degradación del medio ambiente, que considera las fincas de café como agroecosistemas complejos, y permite agregar valor económico a los recursos naturales, a favor del bienestar de las poblaciones relevantes, tanto presentes como futuras (Brundtland 1987, Gliessman 2000, MEA 2005). Para entender el significado de los resultados de esta primera fase del proyecto Biocafé es preciso reconstruir algunos momentos clave del proceso de investigación. En particular 1) la forma de organizar el grupo operativo de investigación, 2) de la relación entre investigación y producción, y 3) de la generación de conocimientos socialmente útiles para promover el desarrollo regional sustentable. En una investigación convencional los investigadores tienen prácticas por disciplina, trabajan con expertos que desarrollan proyectos individuales, seleccionan su tema de estudio, eligen particularmente su área de trabajo y tienen el control de los recursos económicos y el uso del tiempo. Sin embargo, el efecto de este tipo de investigación sobre el manejo sustentable de los recursos naturales puede ser limitado, debido en gran parte a la rigidez de su estructura y la falta de relaciones con el sector productivo (Bassarab 2002, Pound *et al.* 2003, Rolings y Wagemakers 2004, Köppen *et al.* 2005). Asimismo, es cada vez más difícil para los investigadores, trabajar en grupos pequeños y aislados para resolver los problemas del medio ambiente (Palmer *et al.* 2005). Reconociendo estas limitaciones, el proyecto Biocafé se diseñó como una experiencia de trabajo interdisciplinario (concebida

como la acción de unir y relacionar el conocimiento donde varias disciplinas están involucradas con un objeto de estudio), interinstitucional (supone la colaboración de instituciones que tienen aptitudes específicas en la administración de la producción del café y la conservación de la biodiversidad), y participativa (con las organizaciones de productores de café, como los destinatarios de los conocimientos generados y con el compromiso de ponerlos en práctica).

Biocafé funcionó como grupo operativo, porque fue capaz de coordinar las actividades de tres años de investigación y vinculación con el sector productivo. En el Capítulo 3 se explica que dentro del diseño de investigación se organizaron 27 reuniones mensuales de productores y se difundió y retroalimentó el proyecto a través de 3 talleres que estuvieron apoyados con 5 exposiciones (fotográficas y de avances de investigación), y la divulgación del avance del proyecto en medios masivos de comunicación (radio, televisión y prensa). Un indicador del éxito de Biocafé como proyecto de investigación-acción puede ser la participación de 292 personas interesadas en la producción del café y el efecto de estos intercambios de experiencias sobre las perspectivas tanto de los investigadores como los productores participando en el mismo. Este esfuerzo de coordinación ayudó al uso eficiente de los recursos financieros, tanto en la inversión de insumos como en el trabajo de campo y el uso adecuado de la infraestructura de investigación (Habermas 1989, Tyles 2006). En Biocafé se mostró que la comunicación entre investigadores y productores puede facilitar el cumplimiento de propósitos comunes; por una parte los científicos pueden ajustar el enfoque de sus investigaciones para ayudar a resolver problemas inmediatos de producción y los productores pueden dedicar parte de su tiempo en capacitarse y recibir asesoría especializada, además de compartir el interés de los investigadores para la resolución de problemas de conservación de la

biodiversidad. En particular, los productores de café estuvieron interesados en las propuestas de pago por servicios ambientales. Este tema, que generalmente tiene impactos en escalas regionales, permitió ampliar la perspectiva de acción del proyecto Biocafé y aquella de las organizaciones del sector.

La producción del café es una problemática compleja, ya que considera los fenómenos biológicos, sociales, económicos y ambientales, bajo la visión de su interrelación e interdependencia (García 2000). Por tal razón Biocafé integró un grupo amplio de 71 colaboradores enfocado principalmente en estudios de biodiversidad (14 investigadores que coordinaron el trabajo de 3 técnicos y 33 estudiantes), pero también en la cuantificación de servicios ambientales claves (5 investigadores, 4 técnicos y 6 estudiantes). Sin embargo, hubo un solo colaborador (con 5 estudiantes) para cubrir todos los aspectos socioeconómicos, lo que evidencia la necesidad de formar equipos con enfoques complementarios de investigadores en ciencias sociales y naturales. En particular, se observó la necesidad de un economista ecológico que estime el valor económico de la biodiversidad y los servicios ambientales, y la factibilidad de las recomendaciones generadas (Gobbi 2000, Perfecto *et al.* 2005). En este mismo sentido la interinstitucionalidad sólo se logró con la participación de tres instituciones: el INECOL (18 investigadores), Universidad de las Américas-Puebla (1 colaborador) y Lake Forest College (1 colaborador), aunque otras 12 instituciones más fueron invitadas a conocer y comentar los avances del proyecto. Esta circunstancia refleja la falta de colaboración entre instituciones ambientales no sólo para nuestro caso, sino en general para México (Martínez *et al.* 2006).

El muestreo de la biodiversidad

El diseño de muestreo inicial del proyecto Biocafé se estableció con el propósito de contar con una amplia representación de fincas distribuidas a lo largo del gradiente de intensificación de manejo típico para la región de estudio, de acuerdo con la clasificación general propuesta para los sistemas de producción de café en México (Nolasco 1985, Moguel y Toledo 1999; véanse los resultados del Capítulo 2), y que cumplieran con tener accesibilidad y la colaboración de sus propietarios (Capítulo 1, Gordon *et al.* 2007). Posteriormente, se trató de incrementar la representatividad socio-económica de las fincas, incluyendo

las de propiedad ejidal, con productores minifundistas que tuvieran una cultura campesina, ya que estas unidades pequeñas de producción (≤ 3 ha) representan el 70% de la producción en la región (Capítulo 3). Esta mejoría en la representatividad de los tipos de fincas trajo consigo el reto de reunir a varias clases de productores con diferente estatus socioeconómico y cultural, y por lo tanto, diferente visión y expectativas sobre la producción de café. Lo anterior podría dificultar por un lado, si surgieran conflictos de clase, la organización y evolución de los trabajos del grupo operativo de aprendizaje (investigadores y productores) de Biocafé. Sin embargo, también podría facilitar el desarrollo de estrategias de manejo más aptas para los diferentes tipos de productores presentes en la región de estudio. Además, la inclusión de fincas pequeñas ocasionó que para seis de ellas (un 33% del total, pero ninguna de las seis fincas comunes) no pudieran distribuirse los 10 puntos de muestreo con 50 m de separación mínima, por lo que fueron muestreadas con un menor número de puntos (Cuadro 1.2 de Capítulo 1). Salvo esas excepciones, los polígonos resultantes de los 10 puntos de muestreo son comparables entre fincas y los resultados de diversidad deben interpretarse en función de un mismo esfuerzo de muestreo y no del tamaño de la finca.

Otro aspecto a resaltar sobre los métodos usados en este estudio, son los criterios utilizados para seleccionar los grupos biológicos o taxa. Hasta el momento poco énfasis se ha puesto en los criterios para seleccionar taxa en las evaluaciones de biodiversidad en agroecosistemas forestales. Estos criterios pueden incluir aspectos prácticos como la facilidad de muestreo, taxonomía conocida, y la posibilidad de hacer comparaciones con otros estudios (Favila y Halfiter 1997), la consideración de lo prioritario para la conservación (Greenberg *et al.* 1997, Pineda *et al.* 2005), y el papel ecológico de las especies en la búsqueda de taxa indicadores como sustitutos de otros, o de funcionalidad del ecosistema (e.g., depredadores, Philpott *et al.* 2004, Perfecto *et al.* 2004). En el caso de Biocafé, se aprovechó la gran diversidad de enfoques de investigación de los científicos del Instituto de Ecología, A.C. (INECOL) para conjuntar a expertos de 12 taxa representativos de organismos de tres reinos (animal, vegetal y hongos), así como de diferentes grupos funcionales en el ecosistema tales como productores primarios (plantas leñosas, epífitas y helechos), consumidores primarios y secundarios (insectos y vertebrados terrestres) y descomponedores (hongos

saprobios y micorrizógenos). Esta representación de organismos coincidió con los de estudios previos (Cuadro 1.1 de Capítulo 1; aves y hormigas, por ejemplo) y por eso facilitará comparaciones entre ellos. También incluyó grupos de organismos poco estudiados cuyas características los hacían interesantes para identificar y entender nuevas relaciones de la biodiversidad en los agrosistemas cafetaleros. Por ejemplo, las epífitas y helechos con una gran dependencia de ambientes con cobertura arbórea, los hongos saprobios como un componente importante de la microbiota del suelo y claves para el proceso de descomposición orgánica, y los murciélagos filostómidos, una familia de gran movilidad que ocupa varios nichos ecológicos. El análisis de las asociaciones entre taxa y sus implicaciones sobre la funcionalidad del cafetal como agroecosistema está en proceso y no se presenta en este libro aunque otros grupos de investigadores han avanzado mucho en el análisis de estos temas (por ejemplo, Ricketts 2004 y Philpott *et al.* 2004).

El inventario de especies de un sitio puede obtenerse mediante muestreos no sistemáticos que permitan el registro gradual de especies durante varios años. Sin embargo, en Biocafé se pretendía comparar la biodiversidad entre fincas de diferentes clases de estructura y manejo, por lo cual aplicamos un diseño de muestreo (Capítulo 1). Como en cualquier muestreo, las posibles fallas que preocupan son las referentes al tamaño de muestra, a la representatividad o validez externa (capacidad de obtener conclusiones para una amplia población de objetos de estudio), y a la comparabilidad o validez interna la cual se logra si se evitan sesgos en la elección de las muestras y si se asegura la independencia de las mismas. A pesar de que el muestreo abarcó el mayor número de taxa y grupos funcionales (12) que hasta el momento se ha logrado para estudios de sistemas agroforestales (Perfecto *et al.* 2003, Steffan-Dewenter *et al.* 2007), el número de sitios comunes resultó relativamente bajo (cinco fincas cafetaleras y un bosque testigo), lo cual limitó hasta cierto grado la capacidad de detectar patrones generales con mayor peso estadístico (resultados de este capítulo). Sin embargo, para muchos de los grupos taxonómicos monitoreados fue posible muestrear más fincas y por eso se logró un promedio de 11.8 sitios por grupo (Fig. 21.1a). Para estos grupos un mayor tamaño de muestreo permitió una mayor confiabilidad en los patrones detectados. En los análisis generales reportados en este capítulo hicimos un esfuerzo de

incluir esta información cuando fue posible. Además, identificamos y aislamos las especies generalistas de la riqueza total presente en cada sitio de estudio, lo cual también mejoró nuestra capacidad de detectar patrones significativos.

El número de sitios comunes muestreados para todos los grupos (6) fue el resultado de un balance delicado entre el esfuerzo de mejorar el tamaño de muestra del estudio sin sacrificar algo de precisión (número de puntos de muestreo al interior de cada finca) o rebasar los límites de los recursos disponibles (financiero, personal y tiempo). Por ejemplo, para algunos grupos o taxa la complejidad de los protocolos de aislamiento y procesamiento del material en el laboratorio (e.g. hongos saprobios y endomicorrizógenos) o la necesidad de registrar especies muy abundantes y con fluctuaciones estacionales importantes (Diptera y Coleoptera) impuso restricciones importantes en el tamaño de las muestras obtenidas. La identificación de especies indicadoras o grupos taxonómicos indicadores es una herramienta prometedora para enfrentar este reto ya que permitiría evaluar cambios en la biodiversidad en un mayor número de localidades sin necesidad de aumentar los gastos (Favila y Halffter 1997). Por eso, mientras que el análisis de indicadores por grupo funcional o por arriba del nivel de especie no se presenta en el libro, es una de las líneas de investigación fuertes de Biocafé aún en marcha (Capítulo 20).

Un logro importante del proyecto Biocafé es haber considerado la relación entre el paisaje que rodea a las fincas y su biodiversidad en una región de 20 × 45 km, aproximadamente (Capítulo 19). Aunque ya se ha sugerido que el paisaje, es decir, la matriz en la que están inmersas las fincas de café, puede ser muy importante en determinar la biodiversidad presente (Perfecto y Vandermeer 2002, Schroth *et al.* 2004) solo hay 11 trabajos de 56 que lo investigan, y sólo en relación a dos taxa a la vez: vegetación, aves, abejas y hormigas (Cuadro 1.1 de Capítulo 1). En el caso de la región central montañosa de Veracruz, considerar el efecto del paisaje es muy importante, ya que las fincas se encuentran rodeadas de un paisaje heterogéneo donde el bosque original ocupa una extensión muy reducida entre el 10-21% (Williams-Linera *et al.* 2002, Muñoz-Villers y López-Blanco, 2007). Otro de los aciertos del muestreo fue la representación de fincas, que corresponde al gradiente de estructura y manejo tradicionalmente reportado para fincas cafetaleras a sombra, pero también a la variación regional observa-

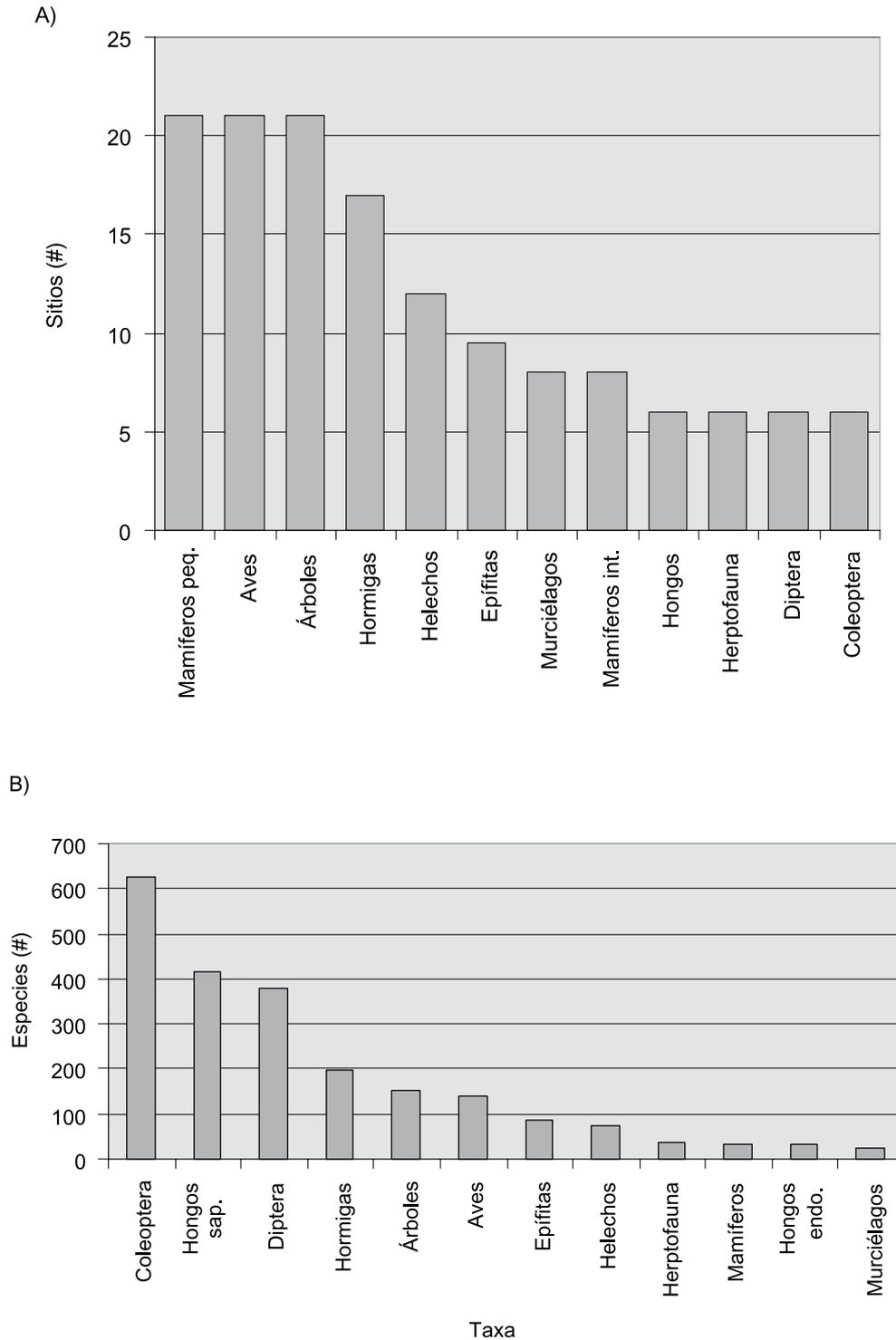


Figura 21.1. Grupos taxonómicos del centro del estado de Veracruz según A) el número de sitios (fincas de café y fragmentos de bosque) muestreados y B) el número de especies registradas (suponiendo 10 especies por familia para el grupo de Diptera; V. Hernández, Com. pers.).

da cualitativamente. Esto permite proponer hipótesis sobre la diversidad para otras fincas semejantes en todo México y tal vez en Centroamérica (Capítulo 2). Pensamos que la alternativa reduccionista, de escoger fincas muy uniformes o parecidas en su estructura y manejo, si bien disminuiría la gran variación observada en nuestros estudios, impediría obtener un conocimiento tan útil para fines de políticas de conservación de la biodiversidad y manejo sustentable de las fincas.

También es importante evaluar la representatividad de la variación al interior de fincas. La separación promedio entre puntos de muestreo contiguos dentro de la finca fue superior, pero a veces muy cercana, a 50 m. Esta distancia es suficiente para representar la variación ambiental en las fincas pequeñas, pero puede ser muy reducida para las fincas grandes; lo cual podría introducir cierto sesgo para la evaluación de organismos pequeños o de baja movilidad o selectivos de microambientes, como hongos, helechos, epífitas, y anfibios, pero no tiene efecto sobre organismos grandes o de gran movilidad como por ejemplo reptiles, aves, mamíferos medianos y murciélagos. Otro aspecto a revisar en cuanto al muestreo es la independencia de los puntos de muestreo dentro de las fincas. Con excepción de los mamíferos medianos y murciélagos, y tal vez aves, los especialistas de cada grupo consideraron que la distancia entre puntos de muestreo dentro de fincas fue suficiente para garantizar la independencia estadística. El análisis de la correlación espacial entre puntos dentro de fincas está en proceso (*sensu* Manson 2000). En todo caso, el método de muestreo empleado es confiable para referir la diversidad total registrada por finca, que es la que se empleó en todos los análisis de este libro.

SÍNTESIS DE RESULTADOS DE BIOCAFÉ

La clasificación de fincas de café

En México al igual que en muchos países de América Latina, la construcción de una tipología agrícola es todavía una tarea pendiente, porque siguen prevaleciendo los enfoques disciplinarios, las diferencias en la escala de trabajo y la complejidad, ya que existen áreas geográficas que presentan mayor diversificación de productos agrícolas (por ejemplo, Jalisco, Guanajuato, Sinaloa, Veracruz, Michoacán, Nayarit y Chihuahua) que generan una cuarta parte de la producción agrícola nacional (Gabriel 2003). En

Biocafé se realizó un análisis por separado de tres ejes de variables (aspectos estructurales, de manejo y socio-económicos) y se exploró su correlación con el propósito de mejorar la comprensión de la producción de café, sus actores sociales y las posibilidades de mitigar los impactos negativos de su producción en el ambiente. Estos resultados señalan que los esfuerzos para clasificar los cafetales no deben suponer relaciones lineales entre estructura y manejo de las fincas (Cuadro 2.5 de Capítulo 2; Moguel y Toledo 1999) y hace falta incluir información socio-económico de los productores. En el medio rural mexicano no basta con describir las características físicas y los elementos biológicos de las unidades de producción, también es indispensable saber quién posee dicha unidad de producción. En los resultados del proyecto también se identificaron las variables más importantes para organizar la heterogeneidad de las fincas de café. Con base en estos resultados el proyecto propone una nueva clasificación para ayudar a identificar las diferencias entre fincas de café y sus puntos críticos ante las exigencias del mercado, así como reconocer su aportación a las tareas de conservación de la biodiversidad (Cuadro 2.9 de Capítulo 2). Pensamos que el uso de la clasificación permitirá hacer diagnósticos rápidos y confiables para la toma de decisiones en la producción de cada finca, además coadyuva a proporcionar información puntual y, eventualmente con la evidencia de muchas fincas, a ordenar las zonas agrícolas y a la definición de prioridades regionales del uso del territorio.

La organización de los productores

El proyecto Biocafé inició su trabajo de grupo en buenas condiciones, por el apoyo económico otorgado, la organización propuesta y el compromiso de los productores. Los investigadores tuvieron la mayor parte de las tareas de coordinación, en tanto que el grupo de productores estuvo formado por 84 productores (25 dueños y encargados de finca, 12 líderes de organizaciones cafetaleras y 47 productores). En el Capítulo 3 se señaló que la producción campesina se opone a la producción industrial, entonces cabe preguntar ¿Cómo se dieron las condiciones en Biocafé para relacionar a los diversos grupos de productores? ¿En qué momento coincidieron? ¿Cuándo se separaron? ¿Qué aprendieron? Las respuestas a estas preguntas requieren una evaluación profunda de Biocafé, tarea que aún no ha

concluido. Desde la coordinación del proyecto se puede señalar algunas ideas, sin pretender agotar el tema. Los registros de asistencia muestran que la participación no fue sostenida, y que a lo largo del proyecto los individuos se fueron remplazando según su disposición de tiempo. Por ejemplo, los productores bajaron su asistencia en la época de corte del café. Un acierto fue haber organizado las visitas a las fincas, esto permitió conocer aspectos puntuales de la producción y facilitó la relación entre productores. Otro elemento que favoreció la comunicación fue haber reflexionado en temas de interés común, con la participación de invitados, lo que evitó enfrentamientos entre productores de condiciones sociales diferentes. A través del diálogo con expositores externos, los problemas analizados dejaban paso a las diferencias personales y permitían análisis por sectores. En general, los técnicos tomaron con mayor facilidad la palabra, sin embargo, los campesinos fueron capaces de expresar sus puntos de vista y explicar las dificultades del manejo de pequeñas unidades de producción y sus limitaciones económicas. Un grupo que medió las posiciones extremas estaba formado por los nuevos productores de café, generalmente con propiedades de mediano tamaño, quienes comparten las condiciones difíciles del trabajo minifundista de los campesinos, pero en otro momento, se identifican con los problemas de la producción industrial, sobre todo frente a la desorganización del sector. Un tema de interés para el grupo fue la presentación de la solicitud para el Pago de Servicios Ambientales (CABSA-rubro de mejoramiento de sombra, CONAFOR). Se solicitaron recursos para un grupo de Coatepec (en su mayoría de grandes productores) y otro de Huatusco (dos organizaciones campesinas). Aun cuando solo la última solicitud fue aprobada, la experiencia permitió discutir las reglas de operación y establecer objetivos comunes de trabajo.

El proyecto Biocafé no contempló en su diseño que los productores hicieran una aportación económica directa a los gastos del estudio de la biodiversidad en su finca. Este hecho, influyó en los niveles de compromiso y la exigencia de resultados pertinentes. Tal vez por ello, los productores vieron como ganancia el trabajo realizado, pero tampoco les permitió influir más en la utilidad inmediata de la información. Por eso, y siguiendo la metodología de proyectos de investigación-acción (Carr y Kemmis 1988), al final del tercer año se propuso iniciar la formación de una asociación

civil para fundar el Centro Agroecológico del Café, A.C. En ella las organizaciones de productores definirán los servicios que demanda el sector y tendrán que financiar parte de los estudios que instituciones académicas puedan realizar en sus fincas, sin embargo, los grandes productores han tomado sus reservas, tal vez este sea el punto que separe a los colectivos según sus intereses particulares. También sabemos que al terminar el financiamiento de los fondos sectoriales del CONACyT, habrá productores e investigadores que decidan no continuar en una nueva experiencia, ese será otro momento de oportunidad para tomar decisiones.

El proyecto no ha medido cuánto aprendieron los productores de la biodiversidad, sin embargo, un indicador que puede permitir evaluar la experiencia educativa es la incorporación de distintos cambios en las fincas bajo estudio. Por ejemplo, el dueño de la finca MIR solicitó los listados de especies para impulsar un proyecto de ecoturismo junto con la ONG Pronatura-Veracruz. En la finca ORD cambiaron su percepción negativa de la presencia de epífitas en el arbolado y dejaron de aplicar el “destencho” en su cafetal. La finca SOL escuchó las propuestas de reconversión del cafetal de sol y la importancia de la sombra con especies maderables, y sus beneficios en la producción de café, convirtiendo una parte importante de esta finca al manejo agroforestal. La finca PAN reforzó su iniciativa de diversificación de la producción de plantas ornamentales en el estrato herbáceo para incrementar valor a la producción agraria. Los propietarios de las fincas VBM, VCS y VSE solicitaron una carta a Biocafé para justificar ante compradores extranjeros sus prácticas de cuidado al medio ambiente. La finca ONZ recibió el reconocimiento del grupo al conocer su estrategia de producción y comercialización del café en la región. Los investigadores aprendimos que cada tipo de productor experimenta las formas de organización y manejo de café más cercanas a la oportunidad que les brinda el mercado y los riesgos de la producción en cada ciclo anual en un contexto particular. De los trabajos del grupo de investigación-acción se desprendieron algunas recomendaciones generales por tipos de cafetal y también otras particulares para cada finca y del mismo modo, algunas recomendaciones para los investigadores que se están preparando en un libro de divulgación (Contreras Hernández y Hernández Martínez, datos no publicados).

La diversidad y su relación con la estructura biofísica y el manejo de los cafetales

Como se puede apreciar en el contenido del libro, por ahora se presentan los primeros resultados por grupo taxonómico; pensamos que en el futuro se podrán identificar las relaciones entre grupos de estudio y se abrirán nuevas líneas de trabajo. Hasta el momento, después de tres años de muestreo se han registrado un total de 2197 especies, pertenecientes a 190 familias, 42 órdenes y 7 clases en los cafetales y fragmentos de bosque estudiados (Fig. 21.1b). Sin embargo, este número es una subestimación ya que muchas de las curvas de acumulación de especies, en particular las de los grupos con más riqueza, no mostraron asíntotas y por eso indican que hay aún más especies a registrar en nuestros sitios de estudio con muestreos adicionales. De los taxa estudiados, los más diversos son los coleópteros, dípteros, y los hongos saprobios. Los taxa medianamente diversos son los hormigas, árboles, aves, helechos y epífitas, grupos que, con excepción de las aves se estima están bien representados; y finalmente los taxa poco diversos, para los cuales se considera casi completo su inventario, son los hongos micorrízicos, los mamíferos, los reptiles y los anfibios.

Una de las preguntas principales que guían el proyecto cuyos resultados presentamos en este libro es ¿Qué proporción de la biodiversidad regional se conserva en los cafetales *versus* los fragmentos de bosque del centro del estado de Veracruz? Nuestros resultados nos indican que, para los seis sitios obligatorios, el número total de especies presentes en los cafetales de sombra (promedio de 489 especies por finca) es el $87 \pm 12\%$ (promedio \pm desviación estándar) del número registrado para el fragmento de bosque usado como testigo (565); mientras que el número de especies presentes en el cafetal a sol es un 66% (345) del bosque. Sin embargo, estos valores seguramente bajarían con más fragmentos de bosque muestreados. Tampoco quiere decir que la diferencia en porcentaje de la riqueza corresponda totalmente a especies perdidas ya que los cafetales a sombra y el de sol pueden tener algunas especies no presentes en el bosque mesófilo (BMM), precisamente aquellas que prefieren ambientes abiertos (con poca o nula cobertura arbórea) y con mucha heterogeneidad espacial a pequeña escala. Es interesante notar que solo la mitad de los grupos biológicos monitoreados (árboles, epífitas, helechos, micorrizas, anfibios y reptiles) tuvieron mayor riqueza

de especies en el bosque mesófilo que en los cafetales; para los otros taxa (hongos saprobios; insectos Diptera, Coleoptera y Formicidae; mamíferos pequeños, aves y murciélagos), la riqueza no fue mayor en el bosque que en los cafetales a sombra (Fig. 21.2a). Sin embargo, en estos taxa la composición de especies fue claramente diferente entre el cafetal a sol, los cafetales a sombra y el bosque (véase adelante). En el caso de los mamíferos de tamaño mediano (Capítulo 12), arborícolas en su mayoría, el número de especies sí fue superior en el bosque y en las fincas con mayor cobertura arbórea; y en el caso de las aves se observó una disminución de especies especialistas del bosque en los cafetales, donde dominan las generalistas o las adaptadas a hábitat abiertos (Capítulo 11).

También era importante para nosotros conocer en qué grado difiere la composición de especies de los cafetales a sombra y a sol de la del BMM, ya que estos tres tipos de hábitat difieren en varios parámetros ambientales y estructurales que pueden determinar diferentes catálogos de especies y la capacidad de estos agroecosistemas para conservar la biodiversidad gamma (regional). Por ejemplo, más especies afines a ambientes sombreados en el bosque y menos en el cafetal a sol. Con base en los datos de presencia-absencia de especies de los doce taxa estudiados en los seis cafetales obligatorios, se identificaron tres grupos de fincas que difieren en su composición de especies (Fig. 21.3): Un grupo que difiere relativamente más de los otros representado por el bosque mesófilo (CAÑ), otro representado por los cafetales a sombra con policultivo y rústicos (MIR, ONZ, ORD) y otro representado por los cafetales con monocultivo y a sol (VSE y SOL). A esta agrupación llegamos por dos métodos multivariados diferentes, análisis de conglomerados (cluster analysis) y escalamiento no-métrico multidimensional (NMDS) lo que nos permite considerarla válida. Por otro lado, una revisión de los índices de similitud (Jaccard) en especies (porcentaje de especies compartidas) presentados en los capítulos 4 a 14 generó los siguientes promedios: entre cafetal a sol y bosque (23%); entre cafetales con monocultivo de sombra y bosque (29%); y entre cafetales con sombra diversa y bosque (31%). Hubo una tendencia ligera de aumentar la similitud entre el bosque y fincas de café con estructuras cada vez más complejas; también se notó que en lo general la similitud con el bosque y todos los tipos de fincas de café (29% en promedio) fue muy baja. Asimismo, parece que cada tipo de finca tiene una capacidad

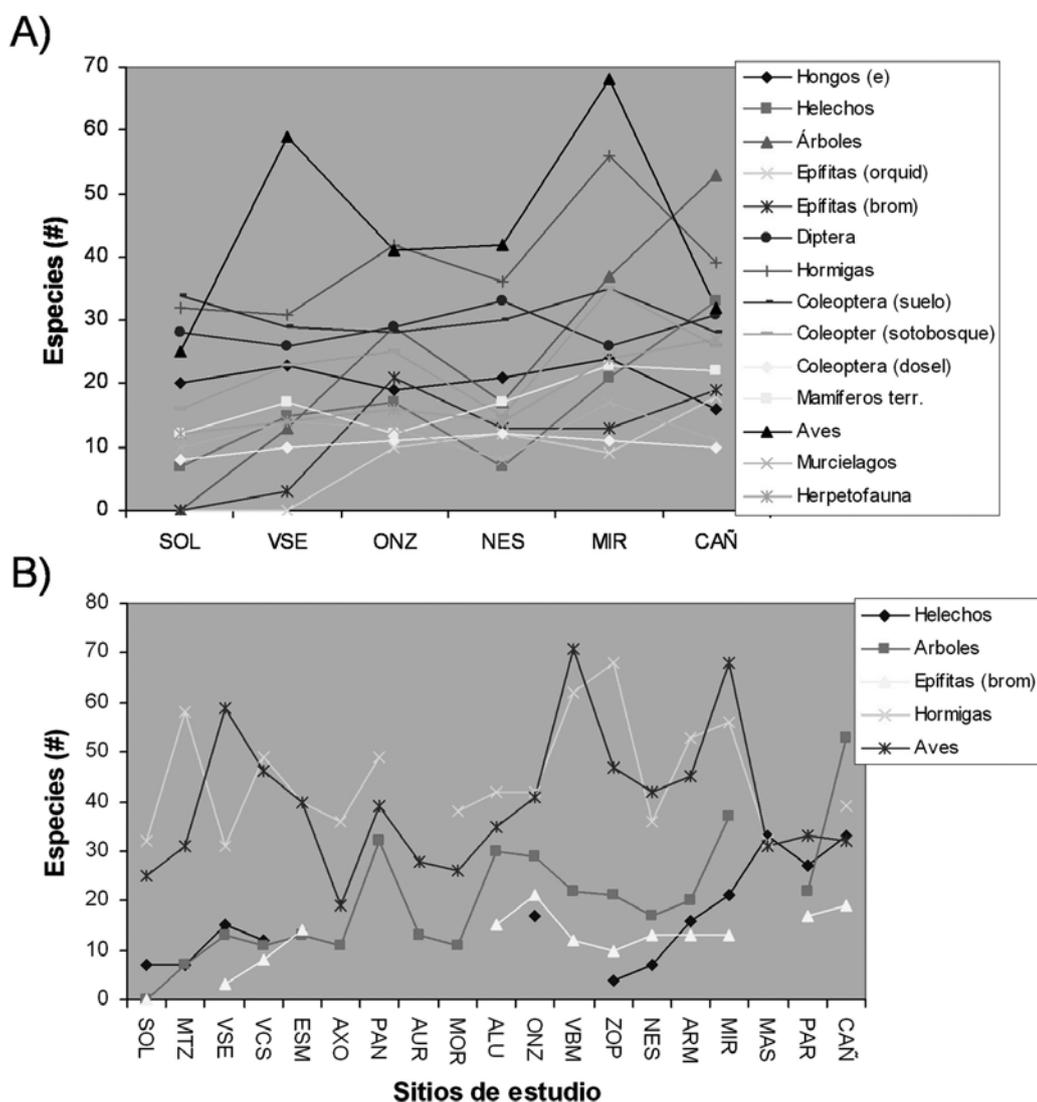


Figure 21.2. Cambios de riqueza para A) 14 diferentes grupos taxonómicos registrados en los seis sitios comunes del proyecto y B) en los cinco grupos taxonómicos muestreados en más sitios en el centro del estado de Veracruz. En ambos casos, los sitios de estudio están organizados de mayor a menor intensificación (de izquierda a derecha) usando la información estructural presentada en el Capítulo 2.

importante de conservar a las especies del bosque (por ejemplo, las especies nativas de árboles comprendieron un 79% de la riqueza total de las fincas de café estudiadas independientemente de su tipo de estructura o manejo; Capítulo 4). Por lo tanto, concluimos que la composición de especies que constituyen la biodiversidad evaluada sí varía sustancialmente entre el bosque y al menos tres clases de cafetales, sin sombra o con sombra simplificada y con policultivo o rústicos (sombra diversificada). Asimismo, existe un alto in-

tercambio de especies nativas entre todos los tipos de finca y los fragmentos de bosque estudiados, por lo tanto, todos parecen jugar un papel único e importante en la conservación de la biodiversidad gamma de la región estudiada.

En general nuestros resultados concuerdan con muchos estudios anteriores en que los cafetales a sombra conservan una buena parte de la biodiversidad de los bosques contiguos a las plantaciones (Perfecto *et al.* 1996, Moguel y Toledo 1999). Sin embargo, para la

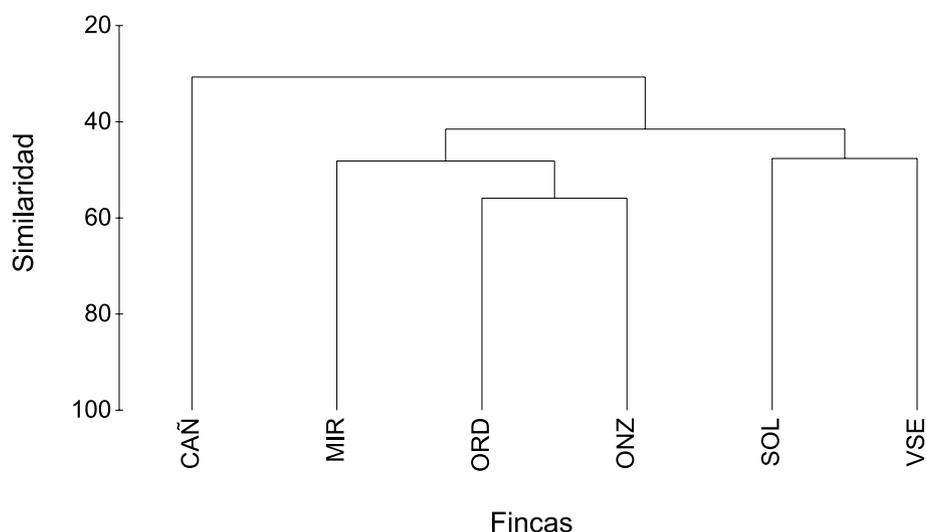


Figura 21.3. Agrupación de las fincas y el fragmento de bosque muestreados obligatoriamente con base en la presencia de especies de 12 taxa mediante un Análisis de Conglomerados por enlace completo. Se distinguen claramente tres grupos: (1) CAN (bosque mesófilo), (2) MIR, ORD, ONZ (fincas con sombra diversificada) y (3) VSE y SOL (fincas con monocultivo y a sol respectivamente).

región central montañosa de Veracruz este hecho es de vital importancia para un plan de conservación, ya que de acuerdo con las evaluaciones más recientes (Capítulo 19, Williams-Linera *et al.* 2002, Muñoz-Villers y López-Blanco 2007, Manson datos no publicados), la superficie cubierta por bosque mesófilo de montaña es poca (entre 9 y 21%) y sigue disminuyendo debido a la transformación a otros usos de suelo. De éstos, los más importantes son los cafetales y sistemas agroforestales (entre 18.4 y 26%), los pastizales (22-45%), la agricultura que no incluye café pero incluye caña de azúcar (15-16%), los bosques de encino y pino-encino (3-8.45) y las áreas urbanas (2.6-5.5%).

Entonces, es evidente el gran papel que los cafetales a sombra jugarán en el futuro para la preservación de la biodiversidad de la región y la necesidad de promover la restauración del BMM y la transformación de cultivos y pastizales a sistemas de producción agroforestales (Schroth *et al.* 2004). El promedio de especies por finca o fragmento de bosque es 478, lo que, junto con los valores bajos de similitud, indica un gran intercambio de especies entre las fincas y fragmentos, aspecto ya destacado en estudios previos con plantas, escarabajos y anfibios (Williams-Linera 2002, Pineda *et al.* 2005). A pesar de esta alta complementariedad, aún no sabemos exactamente qué hacen las especies registradas en los sitios de café estudiados, por ejemplo, si los usan como parte de su ámbito hogareño

o simplemente para moverse entre los fragmentos de bosque que quedan en la región. Por eso, se requiere la implementación de una estrategia de conservación regional y estatal basada en conocimiento científico, que considere dicha complementariedad, así como datos de estudios futuros sobre la ecología de estos organismos, para identificar estrategias de manejo, y planes de desarrollo regional que garanticen la conservación de hábitat críticos y la conectividad entre ellos mediante corredores biológicos como cercas vivas y vegetación riparia (Perfecto y Vandermeer 2002, Laurance *et al.* 2004).

Esta última conclusión se apoya con las numerosas asociaciones observadas entre la riqueza biótica de diferentes grupos taxonómicos y factores midiendo diferentes aspectos de la calidad del paisaje en los alrededores de cada sitio del proyecto (Capítulo 19). Sin embargo, al conjuntar los datos de todos los grupos taxonómicos no se observó una correlación significativa entre la riqueza total y estas variables del paisaje (24 en total; véase la descripción completa en el Capítulo 19). Considerando cada grupo por separado, esta hipótesis se cumplió solo para tres tipos de organismos (hongos saprobios, aves y mamíferos pequeños) usando el índice de calidad del paisaje basado en áreas arboladas (Capítulo 19). En el caso de los murciélagos se encontró un patrón inverso al esperado, o sea la riqueza específica de murciélagos fue mayor con paisajes con cobertura

vegetal poco densa a 1 km alrededor de los sitios de muestreo. Sin embargo, cuando sacamos las especies de murciélagos generalistas de los datos de riqueza esta correlación ya no es significativa, por lo que se debe tener cautela cuando se utiliza la riqueza de especies como indicador; se deben considerar grupos de especies que comparten preferencias de hábitat dentro de los grupos taxonómicos para relacionarlos con variables de manejo y estructura y paisaje de las fincas. Sin embargo, la riqueza total (todos los taxa estudiados en seis fincas hasta el momento e incluyendo a las especies generalistas), resultó estadísticamente independiente de la calidad del paisaje a escalas entre 0.5 y 2 km. Aún así, la baja calidad del paisaje ayuda a entender resultados intuitivamente inesperados como por ejemplo, el valor de riqueza biótica relativamente bajo de la finca ORD en relación con su desarrollada estructura o el valor relativamente alto de riqueza específica en algunos grupos de organismos para la finca SOL. ORD está rodeada por carreteras, cañaverales y centros poblacionales y está muy cerca de Coatepec lo que seguramente incide en una baja biodiversidad; mientras que SOL se encuentra entre dos cañadas y rodeada por un paisaje relativamente cubierto de vegetación que funciona como reservorio de especies. Considerando otras variables a nivel del paisaje como cercanía y densidad de caminos, cercanía a localidades, manantiales y ríos, se ha registrado que explican mucha de la variación de la riqueza y diversidad de varios grupos taxonómicos (bromelias, árboles, coleópteros del sotobosque, helechos, mamíferos, murciélagos y aves) en fincas de café, considerando también diferencias entre especies generalistas y especialistas. Por ejemplo, hay mayor riqueza de especies de helechos y mamíferos conforme aumenta la distancia a localidades grandes (1000 a 10,000 habitantes) pero solo cuando la riqueza excluye a aquellas especies generalistas (López-Barrera com. per.).

La ausencia de correlaciones significativas entre la riqueza total de especies y variación a nivel del paisaje se puede explicar en parte por la agrupación de especies con nichos ecológicos diferentes y, por eso, respuestas opuestas a factores paisajísticos. Por ejemplo, enfocándonos sólo en las especies generalistas, identificados por los expertos en cada taxa con base en la literatura del grupo y su propia experiencia (estas especies definidas como aquellas sin preferencia de hábitat o con una alta capacidad de colonización de hábitat perturbados, representaron el 20% de las

especies de 7 de los 12 grupos estudiados en donde sólo los hongos, Diptera, Coleoptera y epífitas fueron excluidos), si observamos correlaciones negativas de significancia entre el porcentaje de especies generalistas y la distancia mínima de caminos ($R^2 = 0.71$, $P = 0.033$), así como altitud promedio en la zona de influencia alrededor de cada finca ($R^2 = 0.88$, $P = 0.005$; radio de 2 km). Asimismo, hubo una correlación positiva con estas especies generalistas y la cantidad de áreas abiertas presentes en un radio de 1 km alrededor de cada finca ($R^2 = 0.66$, $P = 0.048$). Considerando las generalistas dentro de cada grupo taxonómico por separado también encontramos muchas relaciones importantes (Capítulo 19). Estos resultados sugieren que los estudios ecológicos realizados en fincas de café deben considerar más explícitamente la variación presente a nivel del paisaje en la interpretación de sus resultados (véanse citas de Cuadro 1.1 en Capítulo 1; Perfecto y Vandermeer 2002, Ryszkowski 2002, Schroth *et al.* 2004, Tschardt *et al.* 2005). Asimismo, los estudios de los procesos ecológicos como son la depredación y la competencia que pueden influir el comportamiento de animales y por eso su distribución y abundancia serán cada vez más importantes para explicar estos patrones (Loreau *et al.* 2002, Philpott *et al.* 2004, Perfecto *et al.* 2004).

Ya que la clasificación tradicional de las fincas cafetaleras está basada en gran parte en la estructura biofísica del cafetal, compuesta por las especies vegetales que ahí se encuentran, y en particular por la diversidad de las especies que conforman la sombra (Nolasco 1985, Moguel y Toledo 1999, Guadarrama-Zugasti 2000, Capítulo 2), una hipótesis central del proyecto Biocafé era que la diversidad, medida como riqueza biótica, sería mayor en aquellas fincas con estructura de la vegetación más desarrollada. Esto, bajo el razonamiento de que, en forma semejante a lo observado en ecosistemas boscosos, una estructura de la vegetación más compleja y diversa se traduce en más variedad de recursos alimenticios, sitios de nidificación y refugio, microambientes y sustratos para establecimiento (Perfecto *et al.* 1996, Schroth *et al.* 2004). Cuando graficamos por separado la riqueza total de cada grupo taxonómico al gradiente de estructura presente en los cinco sitios comunes (según el orden presentado en el Cuadro 2.5 del Capítulo 2) algunos grupos sí mostraron el patrón esperado pero otros no (Fig. 21.2a). Tampoco hubo patrones más claros o uniformes en los grupos muestreados en más sitios de

estudio (Fig. 21.2b), lo cual sugiere que hay que tener cuidado en usar pocos grupos taxonómicos para evaluar la capacidad general de fincas de café bajo diferentes tipos de dosel para conservar la biodiversidad regional, ya que las respuestas de estos grupos no parecen ligadas a las de muchos otros (véanse sesgos en las citas identificadas en el Cuadro 1.1 de Capítulo 1).

En contraste sí hubo un efecto positivo significativo de la estructura de la vegetación sobre la riqueza total de los 12 taxa muestreados en los seis sitios comunes

del proyecto ($R^2 = 0.75$, $P = 0.026$), lo cual fue todavía más notable excluyendo las especies generalistas ($R^2 = 0.86$, $P = 0.008$; Fig. 21.4a). También, hubo un efecto significativo de la estructura vegetal sobre la dominancia de ciertos grupos taxonómicos en los sitios de estudio con unos pocos grupos dominando más en sitios con estructuras menos parecidas a la del bosque ($R^2 = 0.78$, $P = 0.019$; usando grupos como especies en el índice de diversidad Shannon). Estos patrones de riqueza se exploraron más a profundidad a través de

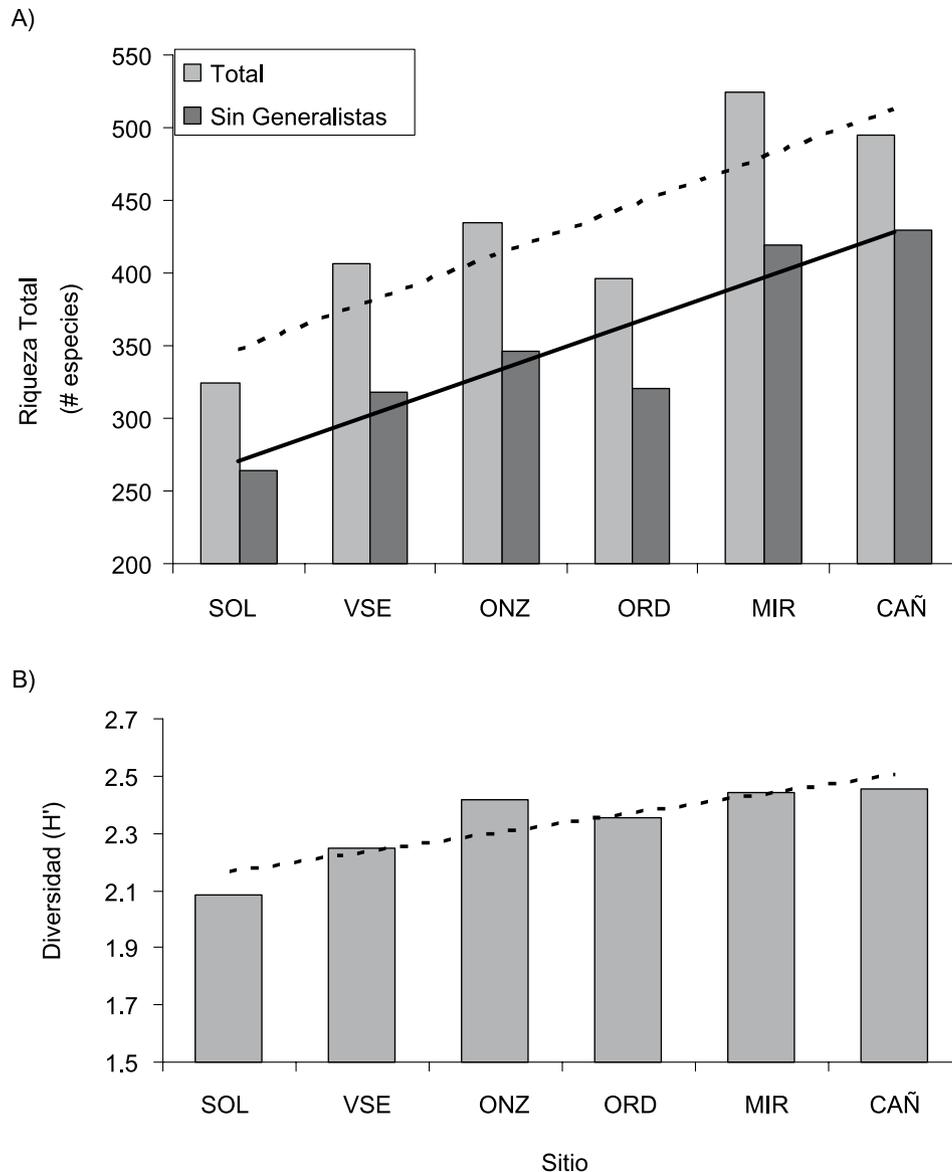


Figura 21.4. Efectos de cambios en la estructura vegetal sobre A) la riqueza total (línea punteada) y la riqueza total sin generalistas (línea sólida), así como B) la diversidad taxonómica presente en los seis sitios comunes del proyecto en el centro del estado de Veracruz.

Cuadro 21.1. Resumen de las asociaciones lineales significativas entre la riqueza total de especies con (S_T) y sin (S_{SG}), generalistas así como la de ciertos grupos taxonómicos y las variables que fueron significativamente correlacionados con la estructura de la vegetación o el manejo dentro de los sitios de estudio en el centro del estado de Veracruz. Véase el Capítulo 2 para una descripción más detallada de cómo se calcularon los índices de estructura (IEC) y de manejo (IIB). La riqueza total se calculó usando todos los grupos biológicos estudiados excepto árboles, por ser los constituyentes de la estructura de la vegetación. r = correlación de Pearson, F = estadístico de Fisher, P = probabilidad de rechazar hipótesis nula.

Factor	Variable independiente	r	F	P	Sitios (-)
S_T	IEC	0.63	6.88	0.058	6
S_{SG}	IEC	0.77	13.76	0.021	6
S_T	IIB	0.17	0.83	0.41	6
S_{SG}	IIB	0.24	1.31	0.31	6
S_{SG}	Árboles Nativos (S)	0.88	13.32	0.02	6
S_{SG}	Árboles (S)	0.84	9.47	0.04	6
S_T	Altura Promedio (m)	0.81	7.76	0.05	6
S_{SG}	Altura Promedio (m)	0.83	8.96	0.04	6
Helechos	IEC	0.7	9.81	0.01	12
Helechos sin generalistas	IEC	0.72	10.68	0.01	12
Bromelias	IEC	0.82	22.43	0.001	13

comparaciones con las variables originales (o los índices creados con base en ellas) que se usaron para describir la estructura o el manejo en cada sitio de estudio (Cuadro 21.1). Estas comparaciones mostraron que la riqueza total está marginalmente correlacionada con estructura, mientras que hay una relación más fuerte con la riqueza sin las especies generalistas. Siguiendo el mismo patrón, únicamente se observa un aumento de la riqueza específica total conforme aumenta la altura promedio de los árboles pero la riqueza total sin generalistas se correlacionó con la altura promedio de árboles, así como la diversidad total y de especies nativas de este grupo taxonómico. Considerando la riqueza total de los diferentes grupos taxonómicos por separado, sólo los helechos con y sin generalistas, y bromelias mostraron relaciones positivas significativas con el índice de estructura vegetal (Cuadro 21.1).

Por lo tanto, los resultados de los estudios de diversidad sugieren que dos consecuencias importantes de convertir el bosque a cafetales son, por un lado favorecer la entrada y colonización de especies tolerantes a la perturbación o generalistas en cuanto a selección de hábitat y por el otro, favorecer la disminución del número de especies especialistas (*i.e.* finamente adaptadas a las condiciones de bosque). Es interesante señalar que los únicos taxa cuya riqueza específica respondió

en forma lineal positiva al aumento de la estructura, fueron los helechos y las bromelias epífitas, muestreados en el doble de sitios. Esto no es sorprendente, ya que se trata de dos taxa favorecidos por la sombra, la cual permite humedades relativas altas y provee de sitios de establecimiento. En contraste, los taxa con mayor capacidad de desplazamiento a larga distancia y mayor masa corporal, no presentaron asociación con la estructura biofísica del cafetal (*e.g.* los aves, mamíferos medianos y murciélagos). Por otro lado, para otros grupos (murciélagos, hormigas y aves) que también se monitorearon en más de las seis fincas obligatorias, tampoco hubo asociación entre la riqueza específica y la estructura, lo que sugiere que un mayor número de fincas no necesariamente significa mayor entendimiento de los patrones de diversidad. Finalmente, la diversidad de taxa, es decir, la distribución relativa de las especies en cada grupo taxonómico por finca, sí se correlaciona positivamente con la estructura de la vegetación: a mayor estructura mayor diversidad de taxa (Figura 21.4b). Este es un resultado interesante, no evaluado en estudios anteriores por haberse basado en pocos grupos taxonómicos, que apoya la noción de que los ecosistemas arbolados proporcionan un mayor número de nichos ecológicos para la biota (Thiollay 1995).

Otra hipótesis subyacente al proyecto Biocafé, era que a mayor intensificación del manejo (prácticas de chapeo y uso de agroquímicos) de la finca, menor riqueza de especies. Aunque para muchas fincas coincide que la riqueza específica es relativamente alta y la intensificación del manejo baja, esta hipótesis no pudo apoyarse estadísticamente ya que la riqueza total con y sin generalistas en los seis sitios comunes no se correlacionó con los variables de manejo (Cuadro 21.1). Una posible explicación de la falta de asociación entre biodiversidad e intensificación del manejo puede ser que, con excepción del “destenche” (eliminación de epífitas de los árboles de sombra) que es raro en nuestra zona de estudio, las prácticas de manejo afectan principalmente desde la parte superior de los cafetos hasta el suelo, pero mucha de la biodiversidad de insectos, mamíferos medianos, murciélagos y aves, se encuentra en estratos de la vegetación superiores y probablemente poco afectados por el manejo. El hecho de que la estructura fue más importante que el manejo para explicar patrones de la biodiversidad presente en las fincas que estudiamos, también sugiere que los programas de certificación diseñados para promover la conservación taxonómica en estos agroecosistemas deben enfocarse más a la regulación de este primer grupo de variables (Gobbi 2000, Rice 2001, Perfecto *et al.* 2005).

Los servicios ambientales

Los servicios ambientales se pueden definir como “las condiciones y los procesos por medio de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que los comprenden, mantienen y satisfacen a los seres humanos” (Daily 1997). Mucha de la estructura de los ecosistemas, incluyendo las poblaciones y comunidades de especies, está extraída directamente para el uso humano y representa una parte importante y familiar de la economía humana. Por eso, el valor de estos “bienes” como pesca, frutos, madera, fibra natural, farmacéuticos, etc. es relativamente fácil de cuantificar y suma cientos de miles de millones de dólares por año (MEA 2005, Bennett y Balvanera 2007).

En contraste, los servicios proporcionados por los ecosistemas son las funciones básicas que apoyan toda la vida de la Tierra y aportan beneficios indirectos a los seres humanos (Daily 1997, NRC 2005). Aparte de los retos asociados con su cuantificación (Kremen y Ostfeld 2005), la valoración de los servicios ambientales

es difícil dado el hecho de que no hay mercados para la mayor parte de ellos y se catalogan como propiedad pública, gubernamental o recursos de uso común, es decir, cuyo uso está abierto para todos (Heal 2000, Barzov 2002, NRC 2005). Históricamente, estos servicios ambientales como son el aire y el agua limpia han sido muy abundantes y fácilmente aprovechables y por eso considerados sin valor económico o tan reducido, que no valdría la pena cuantificarlo. Desgraciadamente, hoy en día esta situación ha cambiado drásticamente. Las amenazas para la biodiversidad, los ecosistemas y los servicios ambientales que proporcionan, están creciendo tanto en número como en intensidad y por eso hay cada vez más países enfrentando los enormes costos relacionados con el reemplazo de estos servicios (Constanza *et al.* 1997, Balmford *et al.* 2002, MEA 2005).

Esto es particularmente cierto para los sistemas modernos de cultivo cuya expansión e intensificación ha transformado entre una tercera parte y la mitad de la superficie del planeta (Vitousek *et al.* 1997) y ha degradado el 60% (15 de 24) de los servicios ambientales claves proporcionados por los ecosistemas a nivel mundial (MEA 2005). Sin embargo, hay muchas señales de que esta expansión agrícola no es sustentable y por eso existe cada vez más interés en el desarrollo de, o el regreso a, formas alternativas de la producción agraria (Pimentel *et al.* 1999, Gliessman 2000, Kremen *et al.* 2002, Tilman *et al.* 2002, Bennett y Balvanera 2007).

La consideración explícita de los servicios ambientales será un componente importante de la visión agroecológica (Tscharntke *et al.* 2005, Bennett y Balvanera 2007). Existen cada vez más estudios de las importantes ligas entre la biodiversidad y la productividad, resistencia, y resiliencia de los agroecosistemas (Tilman 1999, Loeau *et al.* 2002, Tilman *et al.* 2002). También hay mucha información sobre el impacto de la intensificación del manejo de agroecosistemas sobre servicios ambientales críticos como la polinización, el control biológico de plagas y el mantenimiento de la fertilidad de los suelos, todos con ligas directas a la productividad de cultivos (Vandermeer 1995, Altieri 1999, Kremen *et al.* 2002, Altieri y Nicholls 2004, Bennett y Balvanera 2007). Por eso, hay cada vez más interés en la creación de programas de pago por servicios ambientales (PSA) para éstos y otros servicios ambientales, con el fin de eliminar las “externalidades” de los mercados económicos que han promovido la

contaminación y deterioro del medio ambiente como estrategias económicas viables que sobreponen los intereses de individuos y empresas privadas por encima del interés público (Heal 2000, Myers y Kent 2001, Wunder 2007). Cuando los bienes y servicios comunes como el agua y el aire limpio quedan sin un valor económico no hay incentivos para su conservación y uso eficiente, siendo por lo tanto sobre-explotados y dañados con consecuencias graves para el bienestar de los seres humanos (Hardin, 1998).

Cada vez hay más interés en el manejo de información sobre los servicios ambientales para bajar los costos de producción y aumentar las fuentes de ingreso de fincas de café y otros sistemas agroforestales (Beer *et al.* 1998, Montagnini 2006). Los pagos para el café certificado tienen el propósito de proporcionar a los productores precios más altos y estables con el fin de minimizar la contaminación del medio ambiente, maximizar la conservación de la biodiversidad o el bienestar socio-económico de los trabajadores de estos agroecosistemas (Rice 2001 y 2003, Bacon 2005, Perfecto *et al.* 2005). México es reconocido como un líder mundial en la producción de café certificado (Giovannucci 2001) y produce una quinta parte del café orgánico a nivel mundial (Moguel y Toledo 2004). Aunque el desarrollo de este tipo de mercado es más avanzado en los estados de Chiapas y Oaxaca que en el estado de Veracruz, los resultados del proyecto Biocafé (Figs. 2.2 y 2.4, Capítulo 2) muestran que existe un porcentaje importante de fincas en el centro del estado de Veracruz cuyas estructuras y/o sistemas de manejo podrían acercarse a los de las fincas que ya cumplen con los requisitos del café certificado sin mucho esfuerzo (AXO, MIR y MOR; véase Cuadro 1 de Muschler *et al.* 2006). Sin embargo, aún existen varios cuellos de botella que limitan el acceso de los productores a estos tipos de mercados (Gobbi 2000, Rice 2001, Perfecto *et al.* 2005). Asuntos de particular preocupación que hay que atender para que ésta sea una opción viable para muchos productores de café son las reducciones de rendimiento y los altos costos asociados con la certificación relativos al premio recibido (Gobbi 2000, Perfecto *et al.* 2005), la falta de flexibilidad de los esquemas de certificación con el fin de adaptarse a las condiciones únicas de cada región o localidad (enfocados en pequeños *vs.* grandes productores; Muschler *et al.* 2006), así como la capacidad de crecimiento de estos mercados especializados y su potencial de mejorar el bienestar socio-económico de

las comunidades participando en ellos (Rice 2001, Getz y Shreck 2005). Con un diseño adecuado y los programas federales como los pagos por “mejoramiento de sombra” en sistemas agroforestales que son parte del Programa para Desarrollar el Mercado de Servicios Ambientales por Captura de Carbono y los Derivados de la Biodiversidad y para Fomentar el Establecimiento y Mejoramiento de Sistemas Agroforestales (PSA-CABSA) de la CONAFOR, así como los apoyos económicos destinados a productores de café por parte de la SAGARPA, podrían ayudar a superar muchos de estos retos.

El interés por parte de los productores de café en estos y otros mercados sustentables podría aumentar con más estudios que muestren los beneficios adicionales asociados con estas estrategias alternativas de producción. Por ejemplo, cada vez hay más evidencia que la biodiversidad en el control biológico de plagas (Altieri y Nichols 2004) y la polinización que mantiene la producción de café y muchos otros cultivos son servicios ambientales que valen anualmente miles de millones de dólares a nivel mundial (Nabhan y Buchmann 1997, Kremen *et al.* 2002, Altieri y Nichols 2004). Estudios recientes de café muestran que las formas más tradicionales de manejo del café o la presencia de fragmentos de bosque nativo puede aumentar la diversidad de polinizadores y por tanto el amarre de frutos y la producción total de los cafetos (Klein *et al.* 2003a y 2003b, Ricketts 2004; Capítulo 18). Como un ejemplo de la importancia de este tema resaltan dos estudios recientes realizados en Costa Rica e Indonesia, en donde la presencia de fragmentos de bosque aumentó la producción del café de un 18-20% y tuvo un valor de entre \$US 57-393 dólares/ha de bosque presente (el valor aumenta conforme baja la proporción total de bosque presente en la región; Ricketts *et al.* 2004, Priess *et al.* 2006). Aunque el valor económico del servicio de los polinizadores aún no se ha estimado en el centro del estado de Veracruz, la poca cobertura forestal presente sugiere que tendrá un valor ubicado en la parte alta de este rango (Capítulos 18; Williams-Linera *et al.* 2002, datos no publicados). Urgen más estudios que cuantifiquen el valor económico de los polinizadores que se encuentran en fincas de café de sombra de baja intensificación y fragmentos de bosque mesófilo de montaña, no sólo para la producción de café sino también para los demás cultivos en el centro del estado de Veracruz. Después, existe el reto de convencer a los tomadores de decisiones que valoren

éstos y otros servicios ambientales en la planeación regional (Chan *et al.* 2006, Naidoo y Ricketts 2006, Ghazoul 2005).

Otros servicios ambientales sumamente importantes para la producción del café y otros cultivos son los proporcionados por los suelos incluyendo el mantenimiento de la productividad, el control de plagas y el almacenamiento de agua (Wall 2004). En el proyecto Biocafé no se observaron diferencias significativas en la fertilidad de los suelos entre los cafetales y los fragmentos de bosque estudiados (Capítulo 15), lo cual apoya estudios previos mostrando la capacidad de sistemas agroforestales para mantener una alta calidad de suelo (Young 2001, Dechert *et al.* 2005). Sin embargo, tampoco hubo diferencias significativas en la fertilidad de suelos entre fincas con diferentes niveles de intensificación (basados en 5 fincas de café; Capítulo 15) quizá debido a la alta fertilidad de los suelos volcánicos de la región (Geissert *et al.* 2000), o bien a la falta de una mejor representación de sitios a lo largo del gradiente de intensificación del café típico para la zona de estudio. También hace falta realizar estudios que comparen la calidad de los suelos de los cafetales con la de los demás usos de suelo en el centro del estado de Veracruz.

Dado el estado crítico de los recursos hídricos del país, hay cada vez más interés en la conservación de los servicios hidrológicos de ecosistemas boscosos en México a través de esquemas de pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH; Manson 2004). Actualmente, los sistemas agroforestales como el café de sombra y el cacao están excluidos de los esquemas de PSAH establecidos a nivel nacional (Fondo Forestal Mexicano de CONAFOR) y regional (FIDECOAGUA del Municipio de Coatepec) pero hace falta una justificación científica para esta decisión. Por ejemplo, una revisión muy exhaustiva de la hidrología de zonas tropicales montañosas sugiere que el buen manejo de los suelos puede ser igual de importante que la cobertura forestal para mantener la captación del agua de lluvia y la recarga de los mantos acuíferos (Bruijnzeel 2004). Otro estudio, en donde se resumen los resultados de más de 500 proyectos de reforestación a escala mundial, muestra que aumentos en la cobertura forestal en cuencas, especialmente usando especies con altas tasas de evapotranspiración, puede resultar en menos gasto anual en los ríos (Jackson *et al.* 2005). Los resultados del proyecto Biocafé sobre las características hídricas de los suelos sugieren que mientras que la capacidad

de retención del agua aprovechable por las plantas aumentó con la transformación de bosque a fincas de café, la conductividad hidráulica del suelo mostró el patrón inverso, siendo significativamente más lenta en los suelos cafetaleros (promedio 2.19 cm/h) que en los fragmentos de BMM estudiados (6.96 cm/h; Capítulo 15). La conductividad hidráulica indica la facilidad con la cual el agua transita por el suelo y llega a las raíces de las plantas y a los mantos freáticos. Por eso, la evidencia hasta la fecha no apoya la petición de que los productores de café reciban los PSAH que en México varían entre \$300 y \$400 pesos/ha/año. Sin embargo, dadas las condiciones especiales del BMM (baja tasa de evapotranspiración y la captura del agua de niebla) donde están ubicados muchas de las fincas de café del país (Challenger 1998, Moguel y Toldeo 1999), hacen falta estudios comparativos entre fincas de café con prácticas de manejo de bajo intensidad y fragmentos de bosque, que evalúen la capacidad de estos agroecosistemas para conservar las funciones hídricas netas de este tipo de bosque (Stadtmüller y Agudelo 1990, Bruijnzeel 2001, Rodríguez Morales y Arellan Monterrosas 2006).

Otro aspecto interesante de los suelos de los agroecosistemas es su capacidad de funcionar como sumideros de carbono (Guo y Gifford 2002). Dado que el carbono del suelo representa casi dos terceras partes del carbono de los ecosistemas del mundo (Schlesinger 1997) y que el dióxido de carbono es el gas de invernadero que más contribuye al cambio climático global (IPCC 2007), existe la posibilidad de mitigar muchos de estos cambios a través de un manejo más sustentable de los suelos en los agroecosistemas (Lal 2004). Los resultados del proyecto Biocafé indican que todos los sitios estudiados en el centro del estado de Veracruz exhibieron reservorios importantes de carbono en los suelos y que, después de tomar en cuenta la densidad aparente del suelo, fue mayor en fincas de café (rango: 27.4 a 33.6 Mg C/ha) que en los fragmentos de bosque estudiados (24.4 a 27.2 Mg C/ha). También hubo significativamente más carbono orgánico en fincas de café con manejos de bajo impacto comparados con el café a sol (Capítulo 15).

Este patrón complementa lo observado para la biomasa leñosa en estas mismas fincas (Capítulo 16) en donde se encontró que los cafetales tradicionales mostraron los niveles más elevados de almacenamiento de carbono, seguido por los bosques y finalmente por las fincas con manejos más intensificados. El promedio

de carbono almacenado por árboles en el centro del estado de Veracruz (68.9 Mg C/ha) concuerda también con los niveles observados en otros estudios de carbono realizados en fincas de café de la misma región (Pineda-López *et al.* 2005), así como otros estados de México (Maser *et al.* 1995, De Jong *et al.* 1997, Peña del Valle *et al.* 2006). Esto apoya y sugiere estudios de cambios de manejo para aumentar su capacidad como sumideros de carbono generando fuentes alternativas de ingreso para cafetaleros y los dueños de otros sistemas agroforestales (Klooster y Maser 2000, Albrecht y Kandji 2003, Montagnini y Nair 2004, Polzot 2004, Peña del Valle 2006).

Aunque hace falta realizar los estudios de las tasas de acumulación anual de carbono (secuestro) en Veracruz, podemos aprovechar los datos de fincas en otros siete estados de México con niveles de acumulación neta de carbono parecidos a las fincas “rústicas” del proyecto Biocafé con el fin de ilustrar los posibles ingresos brutos de pagos por este servicio ambiental (Capítulo 16, De Jong *et al.* 1997, Peña del Valle *et al.* 2006). En tales estudios piloto, las fincas con un rango de acumulación neta de 80.6-84.5 Mg/ha, tienen una acumulación de 2.11-16.8 Mg/ha/año, lo cual significa ingresos adicionales para el productor de entre \$279 - \$2,218 pesos/ha/año. En Chiapas, donde el mercado para este servicio ambiental es lo más avanzado del país, se logró vender un promedio de 31,649 Mg C/año durante el periodo 1997-2005, un 30% de lo cual viene de cafetales de sombra (Soto Pinto *et al.* 2006, Fondo Bioclimático 2007). Sin embargo, aún no es claro el potencial de crecimiento de este tipo de mercado en el futuro y por lo tanto saber cuántos productores de café podrían participar. De particular preocupación son los costos ocultos (van Kooten *et al.* 2004), la presencia de fugas o efectos indirectos (donde el PSA no detiene la deforestación o intensificación del manejo, sino simplemente lo transfiere a otra parte de la misma finca no siendo monitoreado; Nelson y de Jong 2003) y la capacidad de estos programas de permanecer como sumideros de carbono en el largo plazo (IPCC 2001). También existe el reto para los dueños de las fincas de café de sombra de demostrar que sus fincas no fueron clasificadas como “bosque” antes de 1990, fecha límite para el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kyoto, y que los proyectos propuestos tengan un efecto directo neto positivo de almacenamiento de carbono en relación con una línea base,

o sea que resulten en un secuestro de carbono “adicional” a lo esperado sin el apoyo del MDL (Carpio y Ramírez 2001, Lasco *et al.* 2005, Peña del Valle *et al.* 2006). Debido a éstas y otras complicaciones, de los 160 proyectos con cartas de aprobación del MDL en México a la fecha, aún no hay uno enfocado al secuestro de carbono por ecosistemas boscosos (M. Cervantes, comu. pers.).

Si bien el enfoque en los servicios ambientales nos ayuda a valorar el amplio rango de procesos ecológicos importantes en fincas de café, tanto para sus dueños como para la sociedad en general, también es importante resaltar cómo la diversificación ayuda a los productores a producir más bienes que solamente café y así protegerse de fluctuaciones en el precio internacional de su cultivo principal (Escamilla 1993, Moguel y Toledo 1999, Ellis 2000, Eakin *et al.* 2006, Muschler 2006). Aparte de la calidad en la producción de café, hay estudios que muestran la capacidad de los productores de manejar la sombra de sus fincas para favorecer la producción de otros cultivos (Coelli y Fleming 2004, Eakin *et al.* 2006), leña (Peeters *et al.* 2003) y la producción de madera bajo manejos agroforestales (Somarriba *et al.* 2001, Scherr 2004). Por ejemplo, un estudio de Beer *et al.* (1998) mostró que el uso de prácticas agroforestales en fincas de café podría ayudar a compensar reducciones del 17%, 33% y hasta el 100% en la producción del café bajo escenarios de precios altos, medianos y bajos, respectivamente. Los resultados del proyecto Biocafé indican que: 1) hay una gran diversidad de especies de árboles potencialmente aprovechables en las fincas de café en el centro del estado de Veracruz (promedio de 19 especies por finca, >70% de las cuales son especies nativas; Capítulo 4), 2) muchas de estas especies tienen una alta factibilidad de ser aprovechados como árboles maderables en mercados regionales y nacionales (Capítulo 17), y 3) también existe el potencial de aprovechar especies no-maderables como una fuente alternativa de ingresos (epífitas y helechos; véanse Capítulos 5 y 6, respectivamente).

En la evaluación de la factibilidad de ésta y otras alternativas de producción siempre conviene que los productores reconozcan la compleja red de interacciones ecológicas que afecta a sus fincas (Beer *et al.* 1998, Altieri 1999, Gliessman 2000, Garcia-Barrios y Ong 2004). Por ejemplo, los costos asociados con el manejo de fincas de café como sistemas agroforestales con el fin de recibir pagos como sumideros de carbono

bajarían dependiendo del nivel de productividad de los árboles sembrados y su densidad (Soto-Pinto *et al.* 2006). Sin embargo, ¿cuál sería el impacto neto de reemplazar el conjunto de especies nativas por unas pocas especies exóticas de mejor crecimiento, sembradas en densidades más altas? Muchas veces los efectos de estos cambios son predecibles pero debido a la complejidad de estos agroecosistemas también hay sorpresas (García-Barrios y Ong 2004). La respuesta también depende del tipo de finca seleccionada para este fin. Mientras que la reconversión de fincas más “intensificadas” podría beneficiar esta estrategia, en otras fincas con manejos más tradicionales y diversidad más alta, este tipo de cambio probablemente resultaría en graves efectos negativos sobre la conservación de la biodiversidad (Capítulo 4, Moguel y Toledo 1999, Muschler *et al.* 2006, Peña del Valle *et al.* 2006) y por eso, también podría perjudicar servicios ambientales importantes como la polinización de los cultivos (Capítulo 18, Ricketts *et al.* 2004) y el control biológico de plagas (Soto-Pinto *et al.* 2002, Altieri y Nichols 2004, Muschler *et al.* 2006). Dada la escala de producción del café, tomadores de decisiones interesados en estos tipos de cambios también deben considerar los posibles efectos sobre los recursos hídricos a nivel de cuencas (Jackson *et al.* 2005). De manera sorprendente el estudio de Soto-Pinto *et al.* (2000) muestra que el aumento de la densidad de sombra en fincas de café no necesariamente tendría efectos negativos sobre la producción de café. De hecho, este estudio mostró que aumentos en la cobertura arbórea del 23 al 38% tuvieron efectos positivos en el rendimiento del café que se mantuvieron hasta un nivel de sombra del 48% (Soto-Pinto *et al.* 2000). Por otro lado, el reemplazo de especies arbóreas leguminosas como *Inga* por especies maderables, no necesariamente tendrá efectos negativos sobre la producción del café (Romero *et al.* 2002) a pesar del hecho de que estos fijadores de nitrógeno pueden adicionar hasta el 53% de lo agregado por fertilizantes comerciales cada año (Roskoski 1982). Mientras no se cuente con más estudios científicos sobre estos agroecosistemas, hay que aprovechar el gran conocimiento de los productores de café sobre los bienes y servicios proporcionados por sus fincas en la búsqueda de combinaciones de manejo sustentable de este importante agroecosistema (Bandeira *et al.* 2005, Méndez y Bacon 2005, Soto-Pinto *et al.* 2007).

RECOMENDACIONES

1. Para futuros estudios de la biodiversidad en los cafetales se recomienda impulsar grupos de trabajo interdisciplinarios, interinstitucionales y participativos. Para los equipos de investigación será de gran ayuda que los productores cubran parte del costo de los proyectos con compromisos de trabajo de interés mutuo. Esto les permitirá a los productores proponer temas prioritarios de investigación y exigir resultados acordes con sus necesidades.
2. Para estudios ulteriores sobre la biodiversidad en cafetales de la región estudiada, se recomienda emplear un muestreo proporcional al tamaño de las fincas, si las fincas son muy parecidas en manejo y estructura pero diferentes en el tamaño; o un muestreo estratificado si las fincas difieren mucho en esas y otras variables. Además, convendría incluir los otros usos de suelo más comunes en la región (cañaverales y potreros) para determinar de manera definitiva si los cafetales sombreados son los agroecosistemas con mayor aptitud como reservorios de la biodiversidad. Los taxa a evaluarse deberán ser los multiespecíficos (más de 100 especies) o bien usar especies o grupos indicadores como por ejemplo los helechos. También es importante iniciar estudios ecológicos sobre las relaciones entre taxa, grupos funcionales, y especies que nos permitan entender mejor el papel de la biodiversidad en el agrosistema cafetalero.
3. Se recomienda continuar la caracterización de unidades de producción de café para reforzar los criterios de clasificación de los cafetales de Veracruz. Por ahora, nuestra propuesta permite avanzar en la cuantificación de indicadores de buenas prácticas de manejo, identifica las estrategias de producción y reconoce a los productores que más contribuyen a la conservación de la biodiversidad.
4. Hay que sembrar o trasplantar más árboles en las fincas, de preferencia de especies nativas grandes (más urgente para las fincas de poli y monocultivo), porque esta práctica de manejo mantiene y promueve una gran biodiversidad en los cafetales, misma que representa una gran parte de la biodiversidad total de la región central montañosa de Veracruz.

5. Desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad, convendría incrementar la superficie ocupada por fincas con manejo tradicional o rústico (es decir, con sombra diversificada y prácticas de manejo de bajo impacto sin uso de agroquímicos). Además, dado el alto grado de complementariedad de la biodiversidad que tienen las fincas (tanto grandes como pequeñas) se recomienda mantener o incrementar la superficie total dedicada a la producción de café en lugar de permitir que estos agroecosistemas sean reemplazados por usos de suelos más intensificados. Tomando en cuenta los resultados de los estudios de biodiversidad en las 17 fincas sería conveniente continuar el monitoreo de su manejo. Ello ayudaría a proponer diseños de conservación y producción, estrategias de organización social y restauración ambiental.
6. Se deben articular políticas que detengan la transformación del cafetal rústico o de sombra a otros modos de uso de la tierra, poco adecuados para el mantenimiento de la biodiversidad, tales como cafetales a sol, cultivos de caña o maíz, o ambientes urbanos. Particularmente dañino a la conservación son las grandes extensiones de estos usos de suelo más intensificados.
7. Es importante trabajar con los tomadores de decisiones del sector cafetalero y del medio ambiente para darles a conocer el importante papel de las fincas de café de sombra en la conservación de la biodiversidad a nivel del paisaje en la elaboración de sus planes de desarrollo regional. Por lo tanto, existe la necesidad de instrumentar un programa regional de conservación que se base en el mantenimiento de los cafetales a sombra y la restauración y recuperación de los pocos manchones de bosque mesófilo de montaña que quedan, para asegurar que continúen funcionando como reservorios y fuentes de biodiversidad. Este programa tendría que tener un adecuado diseño que asegure su conectividad mediante corredores biológicos. Finalmente, conviene promover más estudios que cuantifiquen los múltiples servicios ambientales proporcionados por estos agroecosistemas con el fin de proporcionar a los tomadores de decisiones la información que necesiten para evaluar los costos y beneficios verdaderos de cambios de uso de suelo a nivel regional y así, promover paisajes más sustentables en el futuro.
8. Se deben rediseñar los apoyos públicos destinados para los productores de café con el fin de favorecer estrategias de manejo, y particularmente estructuras vegetales, que ayuden conservar la biodiversidad y otros servicios ambientales importantes proporcionados por los cafetales, y así ayudarles a los cafeticultores a posicionarse para entrar en los mercados certificados de este cultivo. Estos y otros mercados de café especializado están creciendo de manera más rápido y más estable que muchas otras estrategias de producción de café a nivel mundial.
9. Con la excepción del café certificado, la evidencia de éste y otros estudios sugiere que sería mejor en el corto plazo que los productores se enfoquen a servicios ambientales que afectan la producción de sus cultivos (polinización, control biológico de plagas y fertilidad de suelos), en lugar de buscar el aprovechamiento directamente de los mercados que están siendo creados para el pago de servicios ambientales como los de servicios hídricos y de secuestro de carbono. Sin embargo, es recomendable seguir apoyando estudios de estos servicios ambientales en fincas de café con el fin de entender cómo cambia la calidad de los servicios proporcionados en diferentes contextos regionales y poder evaluar el papel de las fincas de café comparado con otros usos de suelo en la misma región.
10. Las fincas de café de sombra en el centro del estado de Veracruz tienen mucho potencial de “diversificarse” y así producir gran variedad de otros bienes y servicios aparte del café. Hay que aprovechar esta productividad “alternativa” en la búsqueda de estrategias de manejo que sean más sustentables (capaces de lograr un mejor balance entre la conservación de la biodiversidad y el bienestar socio-económico de los productores). Por lo general, la cantidad de bienes y servicios ambientales potencialmente aprovechables por los productores para reducir sus costos de producción y aumentar sus fuentes de ingreso bajará conforme aumenta la intensificación del manejo de la finca.
11. Se requiere apoyar la capacitación de los productores para conceptualizar las fincas como agroecosistemas, e integrar mejor la experi-

mentación del productor y la de los proyectos científicos en proyectos de investigación-acción que permitan entender y predecir las consecuencias, tanto las socio-económicas como las ambientales, de cambios de manejo que afectan las interacciones ecológicas complejas que caracterizan las fincas de café de sombra.

12. Finalmente, es muy importante mejorar la colaboración y coordinación de los cafetaleros del centro del estado de Veracruz con el fin de alcanzar los niveles de producción de café certificado y otros servicios ambientales requeridos para crear y mantener los mercados especializados para ellos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este capítulo agradecen a los 71 colaboradores, alumnos y técnicos cuyo esfuerzo y dedicación se refleja en la información resumida en este capítulo. Asimismo, agradecemos a los productores de café cuyo colaboración y conocimiento fue clave para el éxito de este proyecto. Esperamos poder seguir trabajando juntos por muchos años para cumplir con el reto del desarrollo del café sustentable en el centro del estado de Veracruz.

REFERENCIAS

- Albrecht A, Kandji ST. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99:15-27.
- Altieri MA. 1999. Applying agroecology to enhance the productivity of peasant farming systems in Latin America. *Environment, Development and Sustainability* 1:197-217.
- Altieri MA, Nichols CI. 2004. *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. Food Products Press. Binghamton, NY. 275 p.
- Bacon C. 2005. Confronting the coffee crises: Can Fair Trade, Organic, and Specialty coffees reduce small-scale farmers vulnerability in northern Nicaragua? *World Development* 33(3):497-511.
- Balmford A, Bruner A, Cooper P *et al.* 2002. Ecology - Economic reasons for conserving wild nature. *Science* 297(5583):950-953.
- Bandeira FP, Martorell C, Meave JA, Caballero J. 2005. The role of rustic coffee plantations in the conservation of wild tree diversity in the Chinantec region of Mexico. *Biodiversity and Conservation* 14:1225-1240.
- Barzev R. 2002. *Guía metodológica de valoración económica de bienes, servicios e impactos ambientales*. Serie Técnica No. 4 del Corredor Biológico Mesoamericano. 148 p.
- Bassarab N. 2002. *Manifiesto of the transdisciplinary*. University of New York Press, Nueva York. 169 p.
- Beer J, Muschler R, Kass D, Somarriba E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164.
- Bennett EM, Balvanera P. 2007. The future of production systems in a globalized world. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5(4):191-198.
- Bruijnzeel LA. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104:185-228.
- Brundtland G. 1987. *Nuestro Futuro Común*. Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, Organización de Naciones Unidas. Alianza Editorial, Mopma, España. 460 p.
- Carpio CE, Ramírez OA. 2001. Estudios económicos sobre el uso de los bosques latinoamericanos para mitigar el cambio climático. *Revista Asturiana de Economía* 21:73-99.
- Carr W, Kemmis S. 1988. *Teoría crítica de la enseñanza. La investigación acción en la formación del profesorado*. Barcelona: Martínez Roca. 245 p.
- Challenger A. 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México, DF, 847 p.
- Chan KMA, Shaw MR, Cameron DR, Underwood EC, Daily GC. 2006. *Conservation Planning for Ecosystem Services*. PLoS Biol 4(11): e379 doi:10.1371/journal.pbio.0040379
- Coelli T, Fleming E. 2004. Diversification economies and specialisation efficiencies in a mixed food and coffee smallholder farming system in Papua New Guinea. *Agricultural Economics* 31:229-239.
- Costanza R, d'Arge R, de Groot R *et al.* 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- Daily GC. 1997. *Nature's services. Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Nueva York. 392 p.
- De Grammont H. 2005. *Del desarrollo interno a la globalización: las transformaciones del campo mexicano*. 5º Congreso de la Asociación Mexicana de Estudios Rurales, Oaxaca. Mayo 25 al 28. Balance y perspectivas del campo mexicano, a una década del TLCAN y del Movimiento Zapatista. Versión electrónica.
- De Jong B, Soto-Pinto L, Nelson K, Taylor J, Tipper R. 1997. Forestry and agroforestry alternatives for carbon mitigation: an analysis from Chiapas, Mexico. En: Adger WN, Pattenella D, Whitby MC, editores. *Climate Change Mitigation and European land Use Policies*. CAB International. Wallingford, Inglaterra. pp. 263-284.

- Dechert G, Veldkamp E, Anas I. 2005. Is soil degradation unrelated to deforestation? Examining soil parameters of land use systems in upland Central Sulawesi, Indonesia. *Plant and Soil* 265:197-209.
- Eakin H, Tucker, CM, Castellanos, E. 2006. Responding to the coffee crisis: a pilot study of farmers' adaptations in Mexico, Guatemala and Honduras. *The Geographical Journal* 172(2):156-171.
- Ellis, F. 2000. *Rural livelihoods and diversity in developing countries*. Oxford University Press, Oxford. 296 p.
- Escamilla PE. 1993. *Los sistemas de producción de café en el centro de Veracruz: Un análisis tecnológico*. Simposio Modernización Tecnológica, Cambio Social y Crisis Cafetaleras. 13-16 de julio de 1993. Universidad Nacional de Costa Rica e Instituto Costarricense del Café. Heredia, Costa Rica.
- Favila ME, Halffter G. 1997. The use of indicator groups for measuring biodiversity as related to community structure and function. *Acta Zoológica Mexicana* 72:1-25.
- Fondo Bioclimático. 2007. Datos de su página web <http://www.planvivo.org/index.html> (consultado 14/05/07).
- Gabriel J. 2003. *Tipología socioeconómica de las actividades agrícolas. Una herramienta de síntesis para el ordenamiento ecológico*. México. Instituto Nacional de Ecología. México, DF. 51 p.
- García R. *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de los sistemas complejos*. GEDISA, ed., España. 252 p.
- García-Barrios L, Ong CK. 2004. Ecological interactions, management lessons and design tools in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61:221-236.
- Geissert D, Ramírez M, Meza E. 2000. Propiedades físicas y químicas de un suelo volcánico bajo bosque y cultivo en Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 2(1):31-34.
- Getz C, Shreck A. 2005. What organic and Fair Trade labels do not tell us: towards a place-based understanding of certification. *International Journal of Consumer Studies* 30(5):490-501.
- Ghazoul J. 2005. Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. *Trends in Ecology and Evolution* 20(7):367-373.
- Giovannucci D. 2001. *Sustainable coffee survey of the North American Specialty Coffee Industry*. Un estudio realizado para la Fundación Summit, Nature Conservancy, Comisión de America del Norte para la Colaboración Ambiental, Asociación de Café Especializado de América y el Banco Mundial (http://www.ccc.org/files/PDF/ECONOMY/CoffeeSurvey_EN.pdf).
- Gliessman SR. 2000. *Agroecology*. CRC Press, Boca Raton, FL. 384 p.
- Gobbi, JA. 2000. Is biodiversity-friendly coffee financially viable? An analysis of five different coffee production systems in western El Salvador. *Ecological Economics* 33:267-281.
- Gordon C, Manson R, Sundberg J, Cruz-Alarcón A. 2007. Biodiversity, profitability, and vegetation structure in a Mexican coffee agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118:256-266.
- Greenberg R, Bichier P, Sterling J. 1997. Bird populations in rustic and planted shade coffee plantations of eastern Chiapas, Mexico. *Biotropica* 29(4):501-514.
- Guadarrama-Zugasti C. 2000. *The transformation of coffee farming in Central Veracruz, Mexico: sustainable strategies?* Tesis doctoral, University of California, Santa Cruz. 187 p.
- Guo LB, Gifford RM. 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology* 8(4):345-360.
- Habermas J. 1989. *Teoría de la acción comunicativa*. Madrid. Taurus, 493 p.
- Hardin GH. 1998. Extensions of "The Tragedy of the Commons". *Science* 280:682-683.
- Heal G. 2000. *Nature and the marketplace*. Island Press. Washington, DC. 203 p.
- IPCC. 2001. *Summary for Policymakers, Climate Change 2001: Mitigation, A Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, University Press, Cambridge.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC WG1 AR4 Final Report. <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>
- Jackson RB, Jobbágy EB, Avissar R, Baidya Roy S, Barrett DJ, Cook CW, Farley KA, le Maire DC, McCarl BA, Murray BC. 2005. Trading water for carbon with biological carbon sequestration. *Science* 310:1944-1947.
- Klein AM, Steffan-Dewenter I, Tscharntke T. 2003a. Bee pollination and fruit set of *Coffea arabica* and *C. canephora* (Rubiaceae). *American Journal of Botany* 90(1):153-157.
- Klein AM, Steffan-Dewenter I, and Tscharntke T. 2003b. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *The Royal Society* 270:955-961.
- Klooster D, Masera O. 2000. Community forest management in México: carbon mitigation and biodiversity conservation through rural development. *Global Environmental Change* 10:259-272.
- Köppen E, Mansilla R, Miramontes P. 2005. La interdisciplina desde la teoría de los sistemas complejos. *Ciencias* 79:4-12.
- Kremen C, Williams NM, Thorp RW. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99(26):16812-16816.
- Kremen C, Ostfeld RS. 2005. A call to ecologists: measuring, analyzing, and managing ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3(10):540-548.
- Lal R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123:1-22.

- Lasco RD, Pulhin FB, MRN Banaticla. 2005. En: Padilla JE, Tongson EE, Lasco RD, editores. *PES: sustainable financing for conservation and development*. World Agroforestry Centre ICRAF. Manila, Filipinas. p. 50-57.
- Laurance WF, Albernaz AKM, Fearnside PM, Vasconcelos HL, Ferreira LV. 2004. Deforestation in Amazonia. *Science* 304:1109-1111.
- Loreau M, Naeem S, Inchausti P, editores. 2002. *Biodiversity and ecosystem functioning: Synthesis and Perspectives*. Oxford University Press, Nueva York. 312 p.
- Manson RH. 2000. Spatial autocorrelation and the interpretation of patterns of seed and seedling survival in old-fields. *Oikos* 91(1):162-174.
- Manson RH. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques* 10(1):3-20.
- Martínez ML, Manson RH, Balvanera P, Dirzo R, Soberón J, García-Barrios L, Martínez-Ramos M, Moreno-Casasola P, Rosenzweig L, Sarukhán J. 2006. The evolution of ecology in Mexico: facing challenges and preparing for the future. *Frontiers in Ecology and the Environment* 4(5):259-267.
- Masera OR, Bellon M, Segura G. 1995. Forest Management Options for Sequestering Carbon in Mexico. *Biomass and Bioenergy* 8(5):357-367.
- MEA. 2005. *Ecosystems and Human Well-being*. Millenium Ecosystem Assessment. Island Press. NY. 245 p.
- Méndez VE, Bacon C. 2005. Medios de vida y conservación de la biodiversidad arbórea: las experiencias de las cooperativas cafetaleras en El Salvador y Nicaragua. *LEISA Revista de Agroecología* 20(4):27-30.
- Moguel P, Toledo VM. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of México. *Conservation Biology* 1:11-21.
- . 2004. Conservar produciendo: biodiversidad, café orgánico y jardines productivos. *Biodiversitas* 55:2-7.
- Montagnini F, editor. 2006. *Environmental Services of Agroforestry Systems*. Food Products Press. Binghamton, NY. 126 p.
- Montagnini F, Nair PKR. 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61-62(1-3):281-295.
- Muñoz-Villers, LE y López-Blanco, J, 2007, Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, 29(1):71-93.
- Müschler RG, Yépez C, Rodríguez Camacho A, Peters Grether W, Pohlen JHA. 2006. Manejo y valoración de la biodiversidad de flora y fauna en cafetales. En: Pohlen J, Soto L, Barrera J, editores. *El cafetal del futuro*. Shaker Verlag. Aachen, Alemania. pp. 333-360.
- Myers N, Kent J. 2001. *Perverse subsidies: how tax dollars can undercut the environment and the economy*. Island Press, Washington, DC. 240 p.
- Nabhan GP, Buchmann SL. 1997. Services provided by pollinators. En: Daily GC, editor. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington, DC. pp. 133-150.
- Naidoo R, Ricketts TH. 2006. Mapping the Economic Costs and Benefits of Conservation *PLoS Biology* 4(11), e360 doi:10.1371/journal.pbio.0040360
- Nelson K, de Jong BHJ. 2003. Making global initiatives local realities: carbon mitigation projects in Chiapas, Mexico. *Global Environmental Change* 13:19-30.
- Nolasco M. 1985. *Café y Sociedad en México*. Centro de Eco-desarrollo. México DF. 454 p.
- NRC. 2005. *Valuing ecosystem services: Towards better environmental decision making*. Committee on Assessing and Valuing the Services of Aquatic and Related Terrestrial Ecosystems. National Research Council. National Academy Press. Washington, DC. 290 p.
- Palmer MA, Bernhardt ES, Chornesky EA, Collins SL, Dobson AP, Duke CS, Gold BD, Jacobson R, Kingsland S, Kranz R, Mappin MJ, Martínez ML, Micheli F, Morse JL, Pace ML, Pascual M, Palumbi S, Reichman OJ, Simons AL, Townsend A, Turner MG. 2005. Ecological science and sustainability for the 21st century. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3(1):4-11.
- Peeters LYK, Soto-Pinto L, Perales H, Montoya G, Ishiki M. 2003. Coffee production, timber, and firewood in traditional and Inga-shaded plantations in Southern Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 95:481-493.
- Peña del Valle AE, Pérez Haro E, Pérez Samayoa I. 2006. Café sustentable y bonos de carbono. En: Pohlen J, Soto L, Barrera J, editores. *El cafetal del futuro*. Shaker Verlag. Aachen, Alemania. pp. 333-360.
- Perfecto I, Rice RA, Greenburg R, Van der Voort ME. 1996. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. *Bioscience* 46(8):598-608.
- Perfecto I, Vandermeer J. 2002. Quality of agroecological matrix in a tropical montane landscape: ants in coffee plantations in southern Mexico. *Conservation Biology* 16(1):174-182.
- Perfecto I, Mas AH, Dietsch T, Vandermeer J. 2003. Species richness along an agricultural intensification gradient: A tri-taxa comparison in shade coffee in southern Mexico. *Biodiversity and Conservation* 12:1239-1252.
- Perfecto I, Vandermeer JH, López Bautista G, Ibarra-Núñez G, Greenberg R, Bichier P, Langridge S. 2004. Greater predation in shaded coffee farms: the role of resident neotropical birds. *Ecology* 85(10):2677-2681.
- Perfecto I, Vandermeer J, Mas A, Soto Pinto L. 2005. Biodiversity, yield, and coffee certification. *Ecological Economics* 54:435-446.
- Philpott SM, Greenberg R, Bichier P, Perfecto I. 2004. Impacts of major predators on tropical agroforest ar-

- thropods: comparisons within and across taxa. *Oecologia* 140:140-149
- Pimentel D, Bailey O, Kim P *et al.* 1999. Will limits of the Earth's resources control human numbers? *Environment, Development and Sustainability* 1:19-39.
- Pineda-López MR, Ortíz-Ceballos G, Sánchez-Velázquez LR. 2005. Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques* 11(2):3-14.
- Pineda E, Moreno C, Escobar F, Halffter G. 2005. Frog, bat and dung beetle diversity in the cloud forest and coffee agroecosystems of Veracruz, Mexico. *Conservation Biology* 19:400-410.
- Polzot CL. 2004. *Carbon storage in coffee agroecosystems of southern Costa Rica: Potential applications for the Clean Development Mechanism*. Thesis, Faculty of Environmental Studies, Master in Environmental Studies, York University, Toronto, Ontario, Canada. 149 p.
- Pound B, Braun A, McDougall C, Snapp S. 2003. *Managing Natural Resources for Sustainable Livelihoods: Uniting Science and Participation*. Earthscan Publications, Ltd. Londres. 256 p.
- Priess JA, Mimler M, Klein A-M, Schwarze S, Tschamtker T, Steffan-Dewenter I. 2006. Linking deforestation scenarios to pollination services and economic returns in coffee agroforestry systems. *Ecological Applications* 17(2):407-417.
- Rice RA. 2001. Noble goals and challenging terrain: organic and fair trade coffee movements in the global marketplace. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 14(1):39-66.
- Rice, R. 2003. Coffee Production in a Time of Crisis: Social and Environmental Connections. *SAIS Review* 23(1):221-245.
- Ricketts TH, Daily GC, Ehrlich PR, Michener CD. 2004. Economic value of tropical forest to coffee production. *PNAS* 101(34):12579-12582.
- Ricketts TH. 2004. Tropical Forest Fragments Enhance Pollinator Activity in Nearby Coffee Crops. *Conservation Biology* 18(5):1262-1271.
- Rodríguez Morales JA, Arellan Moterrosas JLL. 2006. Monitoreo agrohidrológico en microcuencas cafetaleras en el Soconusco, Chiapas, México. En: Pohlen J, Soto L, Barrera J, editores. *El cafetal del futuro*. Shaker Verlag. Aachen, Alemania. pp. 393-404.
- Roling NG, Wagemakers MAE (editores). 2004. *Facilitating Sustainable Agriculture: Participatory Learning and Adaptive Management in Times of Environmental Uncertainty*. Cambridge University Press, Cambridge. 344 p.
- Romero-Alvarado Y, Soto-Pinto L, García-Barrios L, Barrera-Gaytán JF. 2002. Coffee yields and soil nutrients under the shades of *Inga* sp. vs. multiple species in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 54:215-224.
- Roskoski JP. 1982. Nitrogen fixation in a Mexican coffee plantation. *Plant and Soil* 67:283-291.
- Ryskowski L. 2002. *Landscape ecology in agroecosystems management*. CRC Press. Nueva York. 366 p.
- Scherr SJ. 2004. Building opportunities for small-farm agroforestry to supply domestic wood markets in developing countries. *Agroforestry Systems* 61(1):357-370.
- Schlesinger WH. 1997. *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. Academic Press. San Diego, CA. 588 p.
- Schroth G, Fonseca GAB, Harvey CA, Gascon C, Vasconcelos HL, Izac AMN, editores. 2004. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, Washington, DC, 523 p.
- Somarriba E, Beer J, Muschler RG. 2001. Research methods for multistrata agroforestry systems with coffee and cacao: recommendations from two decades of research at CATIE. *Agroforestry Systems* 53(2):195-203.
- Soto-Pinto L, Perfecto I, Castillo-Hernández J, Caballero-Nieto J. 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture Ecosystems and Environment* 80(1-2):61-69.
- Soto-Pinto L, Perfecto I, Caballero-Nieto J. 2002. Shade over coffee: its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 55:37-45.
- Soto Pinto L, de Jong BHJ, Esquivel Bazán E, Quechulpa S. 2006. Potencial ecológico y económico de captura de carbono en cafetales. En: Pohlen J, Soto L, Barrera J, editores. *El cafetal del futuro*. Shaker Verlag. Aachen, Alemania. pp. 333-360.
- Soto-Pinto L, Villalvazo-López V, Jiménez-Ferrer G, Ramírez-Marcial N, Montoya G, Sinclair FL. 2007. The role of local knowledge in determining shade composition of multistrata coffee systems in Chiapas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 16(2):419-436.
- Stadtmüller T, Agudelo N. 1990. Amount and variability of cloud moisture input in a tropical cloud forest. En: Lang H, Musy A, editores. *Hydrology in Mountainous Regions. I-Hydrologic Measurements: the water cycle*. IAHS Press. Wallingford, Inglaterra. pp. 25-32.
- Steffan-Dewenter I, Kessler M, Barkmann J, Bos MM, Buchori D, Erasmi S, Faust H, Gerold G, Glenk K, Gradstein SR, Guhardja E, Harteveld M, Hertel D, Höhn P, Kappas M, Köhler S, Leuschner C, Maertens M, Marggraf R, Migge-Kleian S, Mogeja J, Pitopang R, Schaefer M, Schwarze S, Sporn SG, Steingrebe A, Tjitrosoedirdjo SS, Tjitrosoemito S, Twele A, Weber R, Woltmann L, Zeller M, Tschamtker T. 2007. Tradeoffs between income, biodiversity, and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104(12):4973-4978.

- Thiollay JM. 1995. The role of traditional agroforests in the conservation of rain forest bird diversity in Sumatra. *Conservation Biology* 9(2):335-353.
- Tilman, D, Cassman, KG, Matson, PA, Naylor, R, Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418:671-677.
- Tilman, D. 1999. Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 96(11):5995-6000.
- Tscharntke T, Klein AM, Kruess A, Steffan-Dewenter I, Thies C. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. *Ecology Letters* 8(8):857-874.
- Tyles S. 2006. *Comanejo de recursos naturales: aprendizaje local para reducir la pobreza*. Ottawa: Centro Internacional de Investigaciones para el desarrollo. 95 p.
- van Kooten GC, Eagle AJ, Manley J, Smolak T. 2004. How costly are carbon offsets? A meta-analysis of carbon forest sinks. *Environmental Science and Policy* 7:239-251.
- Vandermeer J. 1995. The ecological basis of alternative agriculture. *Annual Review of Ecology and Systematics* 26:201-224.
- Vitousek, PM., HA Mooney, Lubchenco J, Melillo JM. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277:494-499.
- Wall DH, editor. 2004. *Sustaining biodiversity and ecosystem services in soils and sediments*. Reporte SCOPE No. 64. Island Press, Washington, DC. 275 p.
- Williams-Linera G, Manson RH, Isunza Vera E. 2002. La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques* 8(1):73-89.
- Williams-Linera G. 2002. Tree species richness complementarity, disturbance and fragmentation in a Mexican tropical montane cloud forest. *Biodiversity and Conservation* 11:1825-1843.
- Wunder S. 2007. The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation. *Conservation Biology* 21(1):48-58.
- Young A. 2001. *Agroforestry for soil management*. CAB International/International Centre for Research in Agroforestry, Londres, 320 p.

Índice analítico

A

abejas melífera, 248, 261
abejas nativas, 251, 261
abono orgánico, 202
abonos naturales, 19
acahuales, 264
ácidos orgánicos, 219
actividades agrícolas, 8
actores sociales, 279
agricultura alternativa, 19
 empresarial, 28
 mercantilista, 28
 sustentable, 40
agroecología, 2, 3, 17
agroecosistema forestal, 70
 múltiple, 236
 sustentable, 214
agroecosistemas cafetaleros, 1, 3, 4, 7, 11, 16, 36,
 51, 75, 84, 89, 101, 111, 116, 136, 149, 175,
 182, 187, 194, 214, 219, 224, 235, 261, 262,
 268, 280, 286, 296
 resiliencia de los, 292
agroquímicos, empleo de, 19, 85, 103, 182
aguacate, 237
alimentos, 214
anfibios, 7, 42, 56, 135, 136, 138, 264
árboles, 3, 7, 56, 58, 61, 97, 138, 227, 240, 248,
 261, 289

colectados, 227
de sombra, 7, 189, 230, 292
dominantes, 163
frutales, 239
grandes, 189
maderables, 244, 295
nativos, 55, 287
no nativos, 136
perennifolios, 241
densidad de los, 24, 29
troncos de los, 228
armadillo, 167, 172
artrópodos, 42, 56, 96, 103, 124, 116, 261
aves, 3, 7, 42, 56, 59, 149, 150, 152, 162, 182, 241,
 259, 261, 264, 265, 268, 271, 273, 275, 284, 288
avispas, 116

B

bacterias, 194
Berger-Parker, índice de, 84, 85, 183, 185
bienestar socioeconómico, 6, 297, 279
biodiversidad, 2, 6, 7, 8, 29, 36, 37, 40, 42, 45, 51, 96,
 214, 248, 260, 262, 267, 279, 281, 282, 292, 296
conservación de la, 1, 2, 3, 17, 35, 43, 50, 51,
 89, 103, 108, 150, 156, 162, 260, 268, 293
de la región, 288
gamma, 286, 287
impacto sobre la, 1, 19, 96

- incremento en la, 244
 - indicadores de, 124, 272
 - local, 35
 - natural, 236
 - regional, 55, 290
 - reservorio de, 83, 84
 - taxa de indicadores de, 272
 - valor de la, 96
 - biofertilizantes, 202
 - bioindicadores, 108
 - biomasa:
 - aérea, 227
 - cálculo de la, 225, 227
 - combustibles de la, 214
 - estimación de la, 225
 - del fuste, 225, 227
 - forestal, 223, 224, 227-230
 - leñosa, 229
 - peso seco de la, 230
 - biotas, 248
 - bióxido de carbono, 224
 - bosque, 3, 40, 59, 97, 108, 110, 138, 150, 219, 268
 - de encino, 288
 - de neblina, 3, 56, 84
 - de pino-encino, 262, 288
 - en cafetales, 275, 286
 - mesófilo de montaña, 3, 17, 39, 60, 70, 83, 84, 96, 108, 123, 124, 129, 156, 161, 183, 185, 193, 194, 209, 213, 247, 262, 268, 271, 273, 288
 - no perturbado, 3, 4
 - original, 117, 156, 162
 - perturbado, 3, 186
 - tropical, 96, 224
 - bracatinga, 235, 240
 - Bray-Curtis, análisis de similitud de, 102, 196
 - fórmula de, 184,
 - matriz de similitud de, 85, 152
 - bromelias, 7, 42, 69, 70, 71, 72, 289, 291
 - brotos florales, 250
- C**
- cacao, 294
 - cacería, 161, 172, 176
 - cacomixtle, 175
 - cadena productivas, 32
 - cadena trófica, 103
 - café:
 - broca del, 44
 - calidad del, 31
 - comercialización del, 39, 285
 - cultivo de, 8, 27, 40, 223, 236
 - flores de, 182, 249, 261
 - manejo del, 3, 259, 262
 - precios del, 40, 236
 - producción de, 2, 8, 16, 20, 22, 29, 38, 41-43, 224, 243, 248, 250, 280, 281, 297
 - productores de, 6, 37, 38, 244, 281, 297
 - roya del, 202
 - venta nacional de, 29
 - visitantes florales del, 255
 - café a sol, 2, 59, 84, 98, 123, 125, 181, 186, 199, 247, 271, 273, 275, 286
 - café certificado, mercados de, 2, 279, 293, 297
 - café de sombra, 2, 6, 40, 55, 149, 236, 294, 297
 - café orgánico, certificación de, 29, 31, 89, 126, 138, 152, 214, 268, 293
 - cafetal con policultivo, 60, 126, 129, 184
 - cafetal, cobertura del, 89, 126, 259
 - estructura del, 15, 16, 18, 30, 32, 39, 187
 - cafetaleros, asociaciones de, 4, 32, 33, 42
 - cafetales de sombra, 4, 21, 59, 83, 84, 97, 108, 117, 123, 124, 150, 189, 259
 - biodiversidad de los, 1, 37, 40, 48, 228, 261, 296
 - rústicos, 16, 129, 138, 162, 176, 184, 189, 194, 199, 202, 209, 247, 297
 - tradicionales, 16, 40, 75, 83, 109, 110, 124, 135, 261
 - cafeticultor, ingresos del, 21
 - cafeticultores, 2, 76, 268, 297
 - cafeticultura, 2, 37, 43, 44, 48
 - cafetos, densidad de, 24, 29
 - cambio climático global, 223, 224, 294
 - cambios ambientales, 272
 - cambios ecológicos, 272
 - campos agrícolas, 260
 - caña de azúcar, cultivos de, 4, 84, 113, 264
 - capacidad de campo, 218

capacidad de intercambio catiónico, 214
 capacidad de regeneración natural, 189
 capacitación empresarial, 43
 captación de agua, 1, 6
 captación de nutrimentos, 194
 capulín cimarrón, 241
 características ambientales, 215
 carbón vegetal, 240
 carbono, almacenamiento de, 223, 229, 231
 cantidad de, 224, 228, 230
 captura de, 224, 231
 ciclo del, 220, 224
 contenido de, 228
 carbono almacenado, 229
 carbono orgánico, 294
 carnívoros, 161, 167
 cedro rosado, 235
 cepas nativas, 202
 cercos vivos, 237
 Chao 1, estimador de, 2, 85, 125, 126, 196, 200, 202
 chipojos, 140
 Chiroptera, 163, 182
 chupamiel, 175
 ciclo hidrológico, 214
 ciclos biogeoquímicos, 214
 ciclos de cosecha, 19
 ciprés, 237
 cobertura arbórea, 264, 286
 coleópteros, 123, 125, 127, 264, 289
 combustión, 224
 complementariedad, índice de, 163, 141, 166, 172
 composición florística, 57, 182
 composta, 19
 comunidades, 272
 comunidades indígenas, 2, 4
 condiciones ambientales, 272
 condiciones de bosque, 291
 conductividad hidráulica, 213, 218, 220, 294
 conejos, 172
 conocimientos socialmente útiles, 280
 conservación biológica, 32, 62, 260, 279
 consumidores primarios, 281
 secundarios, 281

contaminantes ambientales, 214
 control del microclima local, 260
 control químico, 214
 corredores biológicos, 288
 cosecha de café, 236, 285
 costos de procesamiento, 243
 cultivo de café de sombra, 31, 261
 cultivos sin árboles, 3, 261, 264
 cultura campesina, 37

D

déficit nutricional en las plantas, 202
 deflación eólica, 214
 degradación biológica, 260
 densidad total, 7, 97
 depredadores, 96, 189
 desarrollo con equidad, 1
 desarrollo regional sustentable, 17, 280, 236
 desastres naturales, 3
 descomposición del suelo, 224, 281, 282
 descomposición orgánica, 282
 descriptores socioeconómicos, 17, 26, 29
 desechos inorgánicos, 214
 desintoxicación química, 260
 detección ultrasónica, 189
 deterioro florístico, 89
 diferencia cafetal/bosque, 217
 dípteros, 95, 96, 98, 100, 101, 116, 264
 diversidad, 7, 39, 101, 136, 289
 alfa, 56, 57, 59, 97, 163, 167, 249
 beta, 60, 87, 152, 156, 163, 170, 172, 251
 biológica, 48, 101, 166, 272
 gamma, 163
 regional, 163
 taxonómica, 85, 87
 dosel, 18, 24, 30, 123, 124, 129

E

economía, 36
 economista ecológico, 281
 ecosistema adyacente, 162
 ecosistema arbolado, 291

ecosistema boscoso, 4, 161, 261
 ecosistema de pradera, 260
 ecosistema tropical, 162
 ecosistemas, 2, 3, 15, 17, 108, 194, 214, 228, 272, 281, 292
 ecosistemas naturales, 124, 182, 260, 292
 ecoturismo, 40
 efecto invernadero, 224
 elementos abióticos, 136
 elementos bióticos, 136
 empleos fijos, 21, 29
 empresa familiar, 29
 encino blanco, 237, 241
 encino chilillo, 241
 encino colorado, 241
 encino laurelillo, 241
 encino prieto, 241
 encino rojo, 237, 241
 encino uricua, 241
 epífitas, 18, 56, 59, 69, 70, 71, 75, 79, 88, 264, 271, 273, 281, 282, 284, 295
 equidad social, 280
 erosión pluvial, 214, 220
 escala trófica, 138
 escarabajos, 3, 123
 escorrentía superficial, 214
 esfuerzo de muestreo, 189, 196
 especie, individuos por, 249
 especies:
 abundancia de, 7, 161, 182, 273
 acumulación de, 152
 arbóreas, 21, 22, 236, 244
 cafetaleras, 110, 137
 comerciales, 56
 compartidas, 135
 composición de, 74, 183, 184
 comunidades de, 292
 conservación de las, 161
 detectoras, 273, 274
 diversidad de, 24, 29, 55, 70, 72, 162
 dominantes, 109
 endemicorrizógenas, 201
 escansoriales, 172
 especialistas, 152
 evolución de nuevas, 3
 exóticas, 56, 163, 169, 296
 extinción local de, 182
 fitopatógenas, 196
 generalistas, 149, 291
 hematófagas, 182
 herbívoros-granívoros, 164
 indicadoras, 271, 277
 introducidas, 163, 239
 inventarios de, 35
 leñosas, inventario de, 237, 239
 maderables, 239, 244
 nativas, 18, 24, 56, 58, 64, 76, 97, 169 296
 neárticas, 136
 neotropicales, 136
 no maderables, 295
 no nativas, 58, 235
 patógenas, 197
 registradas, 283
 riqueza de, 22, 96, 169, 172, 265
 saprobias, 194, 197, 202
 semiarborícolas, 172
 simbiontes, 194
 sucedáneas, 272
 terrestres, 88
 tolerantes, 291
 tropicales, 70, 162
 únicas, 272
 vegetales comestibles, 236, 248
 esporas, 202
 esporulación, 196
 esquemas de certificación, 32
 estrategias de manejo sustentable, 4, 7, 43, 279
 estrategias productivas, 17, 33
 estrato arbóreo, 109, 237
 estrato epigeo, 109, 116
 estrato hipogeo, 115
 estrato subterráneo, 109
 estrés en plantas, 202
 estrés hídrico, 194
 estructura administrativa, 28
 estructura arbórea, 19, 56, 107, 110, 156, 236, 284
 estructura biofísica del cafetal, 24, 183, 286, 291
 estructura social, 36

estudios ecológicos, 15, 37
estufa, secado en, 226
estufa, secado solar en, 226
exportación, 29

F

fabricación de artesanías, 237
fabricación de muebles, 238
factores abióticos, 248
factores bióticos, 248
fauna local, 163
fertilización, 19, 20, 30, 108, 166, 214
fertilización orgánica, 51, 214
fertilizante fosforado, 202
fertilizante potásico, 219
fertilizantes, 19, 89, 137, 194
fibras naturales, 214
fijador de nitrógeno, 240
fincas cafetaleras, 16, 19, 24, 107, 110, 113, 138,
161, 189, 201, 236, 271, 297
de café, 4, 113, 214, 226, 228, 235, 267, 279,
284
de café de sombra, 181, 298
de café rústicas, 24, 56, 176, 256, 268
Fisher, prueba de, 250, 252
floración, periodo de, 2, 161, 249, 250
forraje, 172, 214, 236
fósforo disponible, 213, 217
fraccionamientos urbanos, 3, 4
fresno, 237
frijol, 40
frutas, 236
frutos, 182, 292
fumigación, 108
funciones ambientales, 214
del ecosistema, 271
ecológicas, 45
fundamentos organizacionales, 279
fungicidas, 137

G

ganadería, 4, 39

gases de efecto invernadero, 224
gradiente cafetalero, 149
de estructura, 289
grado de acidez del suelo, 219
grupos biológicos, 25, 271, 291
distinguibles, 186
funcionales, 296
indicadores, 296
taxonómicos, 42, 59, 262, 264, 291
guanacaxtle, 237

H

hábitat, 3, 55, 70, 76, 96, 136, 150, 186, 241, 267,
271, 272, 274, 286, 289
complementario, 162
crítico, 162, 288
natural, 162, 182
perturbado, 289
prístino, 171
hábitos nocturnos, 182
helechos, 7, 56, 70, 83-86, 88, 264, 271, 273, 281,
282, 284, 291, 295
herbicidas, 19, 85, 89, 137, 214
herpetofauna, 137-139, 162
hierba, cobertura de, 97, 248
himenópteros, 107, 249
hojarasca, 109, 116
hongos, 7, 42, 124, 194, 197, 199, 200, 259, 264,
281, 284
endomicorizógenos, 193-196, 202, 212, 286
saprobios, 193-196, 198, 201, 202, 204, 264,
286, 288
simbiontes, 194, 264
hormigas, 59, 107, 108, 111, 113, 116, 261, 264,
271, 273, 275
hortalizas, 39

I

impactos ambientales, 43
impactos ecológicos, 39
impactos negativos, 4
indicadores ambientales, 272

indicadores ecológicos, 272, 273

índice:

de diversidad H' , 199

de equidad, 125

de estructura biofísica (IEB), 166, 169

de estructura vegetal, 291

de impacto biológico (IIB), 166

de manejo, 167

insecticidas, 137

insectos, 3, 140, 162, 182, 188, 247, 248, 261,
281

nocivos, 103

polinizadores, 256

interacción ecológica, 248, 298

interrelaciones biológicas, 268

económicas, 268

sociales, 268

inundaciones, 3

inventarios biológicos, 7

investigación-acción, proyectos de, 280, 298

investigadores y productores, 280, 298

ixpepel, 235

J

jabalí de collar, 167

Jaccard, índice de similitud de, 7, 57, 60, 72, 75, 85,
87, 110, 111, 116, 125, 135, 137, 151, 166, 175,
184, 196, 199

justicia social, 40

lagomorfo, 161, 167

leguminosas, 236

leña, producción de, 224

liquidámbar, 237

locomoción, tipo de, 172

M

macronutrientes, 216, 219

madera, 18, 214, 224, 225, 228, 235, 238, 241, 292

maíz, 40, 264

mamíferos, 7, 42, 138, 161, 162, 175, 259, 261, 268
medianos, 161, 176, 271, 284

pequeños, 161, 163, 168, 273, 288

manejo:

agrícola intensivo, 194

agronómico, 19

de la plantaciones, 8, 17, 30, 60

de los policultivos, 31, 62

de sombra, 273

del agroecosistema, 182

del cafetal, 16, 70

intensidad de, 260

rústico, 213, 237

sustentable, 1, 4

tecnificado, 197

mano de obra, 8

mantos acuíferos, 20

maquinaria motorizada, 19

marsupiales, 161, 167

martucha, 175

materia orgánica, 194, 213, 224

materia vegetal, 224

matorrales, 264

Medellín, clave de, 183, 223

medio ambiente, degradación del, 280

mercado competitivo, 32

mercados alternativos, 2

diferentes, 40

económicos, 292

micobiota, 194

micorrizas, 194

microclima, 250

microhábitat, 135, 136, 137, 155

migración, 39

moluscos, 124

monocultivo, 3, 16, 19, 24, 30, 55, 62, 230, 239, 247

bajo sol, 209

de sombra, 2, 5, 31, 69, 62

monos, 3

morfoespecies, 196, 202

moscas, 95, 96

mosquitos, 96

murciélagos, 3, 7, 42, 59, 181-184, 187, 189, 259,
264, 266, 262, 282

musgos, 70

N

néctar, 187
nichos ecológicos, 163, 167, 172, 289, 291
nitrógeno, 213, 220
 disponibilidad de, 216, 220
nogal, 237
número de taxa, 96
nutria, 167

O

ocelote, 167
odonatos, 124
onza real, 175
organismos, abundancia de, 260
organización social, 36, 43
orquídeas, 7, 42, 69, 70, 71, 74, 138, 261

P

paisaje, 4, 56, 161, 166, 167, 168, 189, 259-261,
 267, 268
 cafetalero, 262
palmas, 189
parámetros agroecológicos, 17
parásitas vasculares, 72
patógenos, 194, 214
patrones ecológicos, 279
 socioeconómicos, 279
perspectiva agroecológica, 51
Pielou, índice de equidad de, 109, 111, 166
piocha, 235, 240
plagas, control biológico de, 19, 20, 30, 166, 214,
 292, 293, 296
plaguicidas, 19, 176, 194
plantación de café, 22, 31, 108
plantas arborescentes, 18
 cultivadas, 248
 hepáticas, 70
 leñosas, 281
 polen de las, 187, 252
 silvestres, 248
 útiles, 56

 vasculares, 70, 124, 264
plátanos, 189
policultivos, 24, 55, 201, 239, 243, 279
 diversos, 24, 30, 55, 56, 69, 74, 83, 84, 209, 214
 sencillos, 56, 59, 69, 74, 83, 84, 150, 231
 simples, 2, 24, 30
 tradicionales, 138, 235
polinización:
 abierta, 253, 256
 de cultivos, 248
 de plantas, 182
 del café, 7, 42, 261
 del jinicuil, 189
 manual, 253
 por insectos, 247, 248, 250
polinizadores, 6, 96, 248, 268, 293
polinizadores, servicio de los, 293
políticas agrícolas, 4
políticas públicas, 4, 41, 43, 49, 50, 96
potasio, 213
potreros, 3, 261
prácticas:
 agrícolas, 96
 agronómicas, 32
 de manejo, 19, 101
procesos de fotosíntesis, 224
 de secado, 226
 hidrológicos locales, 260
producción
 agraria, 292
 calidad de la, 16
 de alcohol, 240
 de alta calidad, 40
 de bienes ecológicos, 2, 40, 214
 de biomasa, 194
 diversificada, 32
 orgánica, 31
productividad, 1, 2, 16, 40, 292
 del cafetal, 7, 41, 76
productores, 8, 16, 26, 28, 33, 38, 41-43, 50, 279
 aspectos socioeconómicos de los, 16, 17, 21, 26,
 29, 41, 281
 medianos, 26
 organización de los, 32, 33, 42

pequeños 26
primarios, 281
productos farmacéuticos, 214
productos industriales, 214
protozoarios, 124

Q

quemadas, 108
quirópteros, 186

R

rabia paralítica, 182
ranas, 3
ranita de cristal, 140
reciclaje de nutrientes, 260
recursos naturales, 280
regeneración del monte alto, 189
regulación del ciclo hidrológico, 214
reptiles, 7, 42, 56, 135, 136, 138, 264, 284
resistencia, 292
respiración, 224
riqueza específica, 137, 187, 197, 289, 291
 familiar, 125
 florística, 244
 gamma, 184
rizosfera, 194
roble blanco, 241
roedores, 161, 167

S

sanidad vegetal, 33
sapitos de hojarasca, 140
saprobios, 282
sector:
 agrícola, 39
 ejidal, 39
 productivo, 41
secuestro de carbono, 1, 6, 231, 295
selva alta perennifolia, 84
 baja caducifolia, 184
 mediana subperennifolia, 60

serpientes, 135, 140
servicios ambientales, 1, 3, 4, 6, 7, 16, 32, 40, 42,
 51, 76, 116, 161, 189, 214, 223, 230, 244, 271,
 279, 281, 292, 294, 297
 pago por, 33, 89, 224, 228, 248, 268, 281, 285
Shannon [H'], función de, 7
 diversidad de, 183-185, 201
 índice de, 18, 84, 184, 197, 249, 251
Shannon-Wiener, índice de diversidad de, 71, 125
 índice de, 166, 196
Shapiro-Wilk, prueba de normalidad de, 57, 215
siembra, densidad de, 29, 296
similitud, dendrograma de, 112
 porcentajes de, 112
Simpson, diversidad de, 185
 índice de, 109, 110, 125, 249, 251, 264
sistema agroforestal, 236
sistema de cultivo, 248
 de ecolocación, 189
 de manejo tradicional, 16, 56, 213, 237
 forestal, 71
 productivo del cafetal, 7, 15, 17, 75, 76, 136
 tierra-océano-atmósfera, 224
sistemas activos, 214
sistemas agroforestales, 2, 224, 294, 230, 235, 238,
 288
 cafetaleros, 37, 237
 de cultivos anuales, 15, 214
 ecológicos, 176, 224, 272
 en equilibrio, 214
 estables, 214
sombra diversificada, 189, 297
 especializada, 199, 209
sorgo, 40
sotobosque, 7, 123, 124, 183
Spearman, correlaciones de, 20, 167, 264
suelos, 3, 123, 213, 218-220
 acidez de los, 213, 219
 acrisoles, 216
 andosoles, 216
 cafetaleros, 213, 216-218
 de bosque mesófilo, 220
 de uso agrícola, 214
 fertilidad de los, 1, 6, 96, 214, 260, 294

microbios de los, 282
porosidad de los, 213, 215
productividad de los, 214
uso de los, 59, 84, 215, 236, 272, 268
sumideros de carbono, 220, 225, 295
sustentabilidad, 2, 17
sustrato físico, 214

T

tasa de retorno económico, 244
tenencia de la tierra, 39
tigrillo, 175
tlacuache, 172
tomadores de decisiones, 297
trampas:
 Malaise, 123, 125
 McPhail, 97, 125
 Sherman, 161
 Tomahawk, 161, 164
 trampas Trailmaster, 161
trigo, 40
Tukey, prueba de, 57, 215

U

unidades de manejo, 4
unidades de producción, 8, 41, 51

V

valor indicador, 273
vampiro, 182, 189

vectores de enfermedades, 96
vegetación:
 boscosa original, 110, 185
 cobertura de la, 108, 189, 194, 264
 de sombra, 111
 diversidad de, 260
 estructura de la, 55, 58, 181, 184, 185, 200, 267, 290
 herbáceo-arbustiva, 115
 leñosa, 62, 97, 169, 224, 225
 nativa, 57, 272
 natural, 261, 262
 primaria, 201
 regional, 61
 riparia, 188, 288
vermicompostas, 19
vertebrados pequeños, 182
 terrestres, 20, 59, 103, 281
víbora mano de metate, 140
viejo de monte, 167
viztlacuache, 175

X

χ^2 , prueba de, 109

Z

zonas agrícolas, 6, 40
 urbanas, 3, 261
zorrillo cadeno, 167

**Galería fotográfica
de los cafetales de Veracruz**



“Las Cañadas” (CAN) (polígono rojo). Fragmento de bosque que se encuentra en medio del gradiente de calidad del paisaje a 2 km (Imagen IKONOS 2003, elaboró F. López-Barrera).



“El Mirador” (MIR) (polígono rojo). Se encuentra en medio del gradiente de calidad del paisaje a 2 km (Imagen IKONOS 2003, elaboró F. López-Barrera).



“Orduña” (ORD) (polígono rojo). Esta finca fue clasificada como de baja calidad del paisaje a 2 km, ya que tiene una matriz dominada por cultivos de caña (Imagen IKONOS 2003, elaboró F. López-Barrera).



“La Onza” (ONZ) (polígono rojo). El paisaje tiene presión urbana, pero al norte tiene una extensa área arbolada que la ubica en el gradiente como una finca con una buena calidad del paisaje (Imagen IKONOS 2003, elaboró F. López-Barrera).



“La Vequia Sombra Especializada” (VSE) (polígono rojo). Esta finca se encuentra en medio del gradiente de calidad del paisaje a 2 km, ya que la región de Huatusco tiene menos presión urbana que la región de Coatepec (Imagen IKONOS 2003, elaboró F. López-Barrera).



“Buenavista” (SOL) (polígono rojo). Esta imagen muestra el paisaje adyacente de mediana calidad (Imagen IKONOS 2003, elaboró F. López-Barrera).



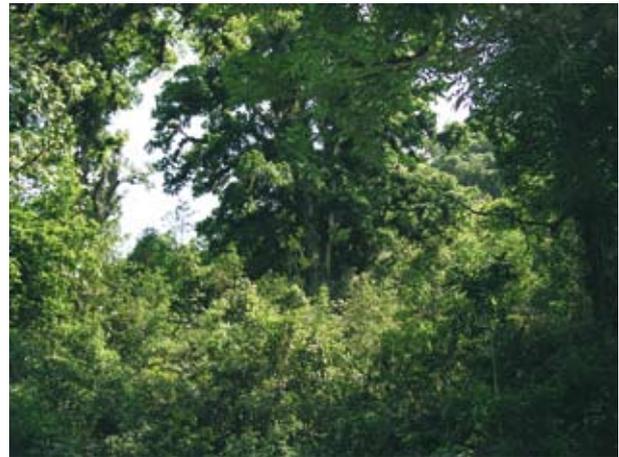
“Panamacani” (PAN) (polígono rojo). El paisaje muestra la presión de los cultivos de caña que lo rodean. Esta finca esta clasificada como un paisaje de baja calidad (Imagen IKONOS 2003, elaboró F. López-Barrera).



“Parque Ecológico” (PAR) (polígono rojo). Fragmento de bosque caracterizado por la baja calidad del paisaje por la presión urbana, casi la mitad de su paisaje esta ocupado por la ciudad de Xalapa (Imagen IKONOS 2003, elaboró F. López-Barrera).



Paisaje del “Bosque Mesófilo de Montaña” en la región central de Veracruz (R. Manson).



Estructura vegetal del Bosque Mesófilo, finca “Las Cañadas” en Huatusco, Veracruz (V. Hernández-Ortiz).



Estructura vegetal de un “Cafetal Rústico” o “Bajo Monte”, finca “El Mirador” en Totutla, Veracruz (C. Deloya).



Estructura vegetal de un “Cafetal de policultivo tradicional”, finca “La Onza” en Coatepec, Veracruz (C. Deloya).



Vista general de un cafetal de monocultivo, finca "Martínez" en Coatepec, Veracruz (G. Hernández Martínez).



Vista general de un cafetal con manejo agroforestal, finca "Esmeralda" en Coatepec, Veracruz (G. Hernández Martínez).



Vista de un cafetal con alta densidad de epifitas, finca "Armand" en Coatepec, Veracruz (J. García Franco).



Vista general de un "Cafetal de Sol" (sin cobertura de sombra), finca "Buenavista" en Teocelo, Veracruz (V. Hernández-Ortiz)



Vista de una finca con una barrera plátanos alrededor del cafetal, finca "La Vequia" en Totutla, Veracruz (G. Hernández Martínez).



Cafetal aledaño a cultivos de caña de azúcar (F. López-Barrera).



Periconia igniaria. Especie saprobia de hongos asociados al suelo y hojarasca, solo se le encontró en el fragmento de bosque CAÑ (G. Heredia).



Glomus sp3. Una de las especies endomicorrizógenas más abundantes que estuvo presente en todos los sitios (G. Heredia).



Glomus intraradices. Especie endomicorrizógena muy abundante en las fincas con sombra especializada (VSE) y bajo sol (SOL) (G. Heredia)



Tillandsia ionatha. Bromelia epífita (S. Gallina).



Penicillium echinulatum var. *echinulatum*. Especie saprobia asociada al suelo. Este hongo se presentó exclusivamente en la finca de policultivo sencillo ORD (G. Heredia).



Perfil de suelo profundo. Desarrollado sobre cenizas volcánicas con horizonte superficial orgánico medianamente espeso y subsuelo ácido pobre en nutrientes (Acrisol ándico), finca SOL (D. Geissert).



Erosión en cárcava. La capa superficial orgánica del suelo, de color gris oscuro, es removida por el agua y deja al descubierto el subsuelo pobre en nutrientes, de color anaranjado, finca VCS (D. Geissert).



Elaphoglossum vestitum. Helecho epifito, frecuente en laderas (M. Palacios-Ríos)



Blechnum occidentale. Helecho terrestre que es frecuente en laderas y tolerante a zonas alteradas (M. Palacios-Ríos).



Niphidium crassifolium. Helecho epifito con valor ornamental (M. Palacios-Ríos).



Lophosoria quadripinnata. Helecho epifito, frecuente en zonas alteradas, y posee valor ornamental (M. Palacios-Ríos).



Polypodium rhodopleuron con hojas jóvenes rojas (K. Mehlreter).



Alsophila firma. Helechos arborescentes en el fragmento de bosque Las Cañadas (V. Hernández-Ortiz).



Macrothelypteris torresiana. Especie indicadora de perturbación (K. Mehlreter).



Laelia anceps "lirio de los árboles". Orquídea epífita (S. Gallina).



Marattia laxa. La presencia de esta especie es indicadora de bosque primario (K. Mehltreter)



Symplocos coccinea "limoncillo". Es una especie arbórea sujeta a protección especial (G. Williams Linera).



Trichilia havanensis "rama tinaja". Esta especie se utiliza para decorar los altares en "Día de Muertos" (G. Williams Linera).



Styrax glabrescens "sajarillo" o "azahar de monte". Es un árbol pequeño que se encuentra frecuentemente en los bosques de la región (G. Williams Linera).



Erythrina americana "gasparitos" o "iquimites". Son árboles abundantes en los cafetales, utilizados en cercas vivas y sus flores son comestibles (G. Williams Linera).



Drosophilidae (Diptera). Familia de moscas muy abundante en los cafetales, las larvas de la mayoría de sus especies actúan principalmente como degradadores de materia vegetal muerta que reintegran al suelo (V. Hernández-Ortiz).



Phoridae y *Sarcophagidae* (Diptera). Dos grupos de moscas muy diversas, sus larvas se alimentan principalmente de materia vegetal y animal en descomposición, pero algunas especies son parasitoides de otros grupos de insectos (V. Hernández-Ortiz).



Syrphidae (Diptera). Familia de moscas muy diversa en los cafetales que no utilizan herbicidas. En su etapa adulta son polinizadores de diversos grupos de plantas, y en su etapa larvaria son saprófagas o depredadoras de otros insectos (V. Hernández-Ortiz).



Tachinidae (Diptera). Estas moscas constituyen uno de los grupos más importantes en el ecosistema, debido a que actúan como parasitoides de otros insectos, controlando de manera natural otras poblaciones de artrópodos (V. Hernández-Ortiz).



Camponotus sp. (Hymenoptera, Formicidae). Constituye uno de los grupos de hormigas con mayor número de especies presentes en los cafetales y el bosque (L. Quiroz).



Stenamma sp. (Hymenoptera, Formicidae). Este género de hormigas se le encontró representado por cinco especies, todas ellas exclusivas del bosque mesófilo de montaña (L. Quiroz).



Cerambycidae (Coleoptera). Insectos grandes cuyas larvas se desarrollan alimentándose dentro del arbolado muerto (C. Deloya).



Lycidae (Coleoptera). Las larvas de estos insectos se alimentan de hongos Myxomycetes o de productos metabólicos de éstos. Los adultos pueden presentar colores aposemáticos (defensa por color) (C. Deloya).



Coprinsallei (Coleoptera, Scarabaeidae). Especie coprófaga que se alimenta en excrementos de mamíferos pequeños y medianos (C. Deloya)



Scolytidae (Coleoptera). Las especies que conforman este grupo se alimentan principalmente de semillas, tallos, troncos y hongos (C. Deloya).



Hypothenemus hampei "broca del café". Esta especie que es una de las principales plagas de los cafetos, sus larvas se alimentan barrenando las semillas (V. Hernández-Ortiz)



Apis mellifera "abeja común europea". Obrera visitando una flor de café, esta especie es el principal polinizador de los cultivos de café en América (C. Vergara)



Bolitoglossa platydictyla "tlaconete". Especie que aun es abundante en los jardines de Xalapa, Coatepec y otras ciudades, es muy rara en los cafetales probablemente debido al uso de agroquímicos (A. González-Romero)



Craugastor rhodopis "rana selvática". Conocida localmente como sapito de la hojarasca, especie de amplia distribución en los cafetales de la zona, tiene un desarrollo directo y no requiere de agua libre (R. Murrieta-Galindo).



Ecnomiohyla miotympanum "ranita verde". Es una rana arborícola muy común en los cafetales y zonas alteradas, se reproduce en charcos y arroyos (R. Murrieta-Galindo).



Lithobates berlandieri "rana leopardo del Río Grande". Es uno de los anfibios más grandes de la zona, se le encuentra en cualquier cuerpo de agua dentro y fuera de los cafetales. (R. Murrieta-Galindo).



Ollotis valliceps "sapo del Golfo". Es el sapo más común en los cafetales y uno de los anfibios más abundantes en la zona, requiere de cuerpos de agua para su reproducción. (R. Murrieta-Galindo).



Cyrrophus cistignatoides "ranita grillo". Especie pequeña que se alimenta de hormigas y termitas, vive entre la hojarasca y requiere sitios muy húmedos para reproducirse. (R. Murrieta-Galindo).



Norops schiedei "chipojo grande". También conocida como lagartija de abanico, es una especie del bosque mesófilo, adaptada a vivir en los cafetales. (R. Murrieta-Galindo).



Campylorhynchus zonatus, especie abundante en cafetales de sombra. (J. Montejo Díaz)



Spilotes pullatus "culebra voladora". Es una de las más grandes de la región y puede llegar a medir hasta dos metros, se alimenta de roedores y aves, a pesar de su tamaño es una especie tranquila e inofensiva. (A. González-Romero).



Trogon violaceus "coa". Especie común en cafetales de sombra diversificada (G. Alducín Chávez).



Euphonia affinis, especie que habita tanto en bosques como en cafetales de sombra (J. Montejo Díaz)



Piranga leucoptera "tángara aliblanca". Especie característica del bosque y cafetales de sombra diversificada (G. Alducín Chávez).



Cyanocompsa parellina "colorín azulnegro". Especie común en matorrales de zonas perturbadas (A. Hernández-Huerta).



Cyanocorax yncas "chara verde". Especie rara en la zona de estudio, habita en bosques y ocasionalmente en cafetales de sombra diversificada (S. de Haro).



Momotus momota "pájaro reloj" o "vaquero". Especie común en bosque y en cafetales de sombra (A. González Gallina)



Rhynchops sulfurator "tucán". Visitante ocasional de cafetales con sombra (S. Macías).



Baiomys musculus. Es una especie rara en la región cuyo hábitat preferido es el acahual, fue capturada solamente en las fincas de ARM y VCS (R. Manson).



Oryzomys alfaroi. Una de las especies de roedores más comunes en fincas de café de la región con preferencias de hábitat muy amplias, con gran abundancia en monocultivos de sombra, pero también en policultivos, fincas rústicas e incluso fragmentos de bosque (R. Manson).



Peromyscus aztecus. Roedor de tamaño intermedio muy abundante en los sitios de estudio. Es más común en fincas con sombra, alta densidad de árboles y con menor cobertura de hierbas (R. Manson).



Peromyscus furvus. La especie más abundante en el sotobosque de los fragmentos de bosque, en las fincas cafetaleras sólo fue capturada en aquellas clasificadas como policultivos diversos o rústicas (R. Manson).



Reithrodontomys mexicanus. Es una especie que prefiere espacios abiertos y sólo fue capturada en fincas de café con manejos muy intensificados y con poca sombra (SOL y MAR) (R. Manson).



Didelphis marsupialis "tlacuache común". Este marsupial es el mamífero mediano más común en los cafetales del centro de Veracruz (A. González-Romero).



Urocyon cinereoargenteus "zorra gris". Este carnívoro aun es común en la zona, a pesar de ser muy perseguido por los cazadores. Se alimenta principalmente de vertebrados (roedores, pájaros y reptiles) e insectos, pero también incluye en su dieta una gran diversidad de frutos incluyendo al café (A. González-Romero).



Dasypus novemcinctus "armadillo". Este animal es el mamífero mediano más buscado por los cazadores en la zona, se alimentan de lombrices e insectos incluyendo sus larvas (A. González-Romero).



Philander opossum "tlacuache cuatro ojos". Marsupial también conocido localmente como "chipe", es una especie rara que ha sido afectada por la destrucción de su hábitat (A. González-Romero).



Bassariscus sumichrasti "cacomixtle". También conocida localmente como "siete rayas" o "sietillo", esta especie es uno de los mamíferos medianos más útiles del cafetal, ya que consumen gran cantidad de ratas y ratones (J. García-Burgos)



Centurio senex "murciélago de cara arrugada". Especie poco abundante que se alimenta de frutos como el zapote (J.M. Pech)



Chiroderma villosum "murciélago ojón lanoso". Frugívoro raro en los cafetales, presente solo en cafetales con sombra diversificada (D. Hernández Conrique).



Sturnira ludovici "murciélago de charreteras mayor" (R. Saldaña)



Dermanura tolteca "murciélago frutero tolteca" (J. Hernández)



Artibeus intermedius "murciélago frutero de Allen" (R. Saldaña).



Pteronotus parnellii "murciélago bigotudo de Parnell" (R. Saldaña)



Coffea arabica. Arbusto de café en floración (V. Hernández-Ortiz).



Frutos de café cereza cortados en su punto óptimo de maduración (G. Hernández Martínez)



Cafeticultores analizando el café pergamino almacenado (F. López-Barrera)



Productores de café del centro de Veracruz (F. López-Barrera).



Indígenas de la región central de Veracruz (G. Hernández Martínez).



Taller sobre sustentabilidad de agroecosistemas cafetaleros del centro de Veracruz, con la participación de productores, investigadores y público en general (A. Contreras Hernández).



Integrantes del proyecto Biocafe (en parte) durante el Simposio organizado en el INECOL en junio de 2007 (J.A. Montero)

AGROECOSISTEMAS CAFETALEROS DE VERACRUZ
biodiversidad, manejo y conservación

se terminó de imprimir en el mes de abril de 2008
en los talleres de S y G editores, Cuapinol 52
Col. Pedregal de Santo Domingo, Coyoacán 04369
México, D.F. Tels. 5619-5293 / 5617-5610.
E-mail: arturosyg@cablevision.net.mx

La edición consta de 700 ejemplares
más sobrantes de reposición.

