

00381

47



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ESTUDIO AGROECOLOGICO DEL SISTEMA DE CAFÉ  
CON SOMBRA EN COMUNIDADES INDIGENAS DE  
CHIAPAS, MEXICO.

# TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
DOCTORA EN CIENCIAS  
(BIOLOGÍA)

P R E S E N T A

MARIA LORENA SOTO PINTO

287587

México D.F.

200#.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

**FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**ESTUDIO AGROECOLOGICO DEL SISTEMA DE CAFÉ  
CON SOMBRA EN COMUNIDADES INDIGENAS DE  
CHIAPAS, MEXICO.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
DOCTORA EN CIENCIAS  
(BIOLOGÍA)**

**P R E S E N T A**

**MARIA LORENA SOTO PINTO**

**DIRECTOR DE TESIS: DR JAVIER CABALLERO NIETO**

## Prefacio

Llama la atención el interesante proceso de adopción y adaptación del sistema de café por productores mexicanos, especialmente campesinos indígenas, quienes han incorporado este sistema al complejo engranaje de su unidad doméstica. En pocas décadas han logrado convertir al sistema de café en uno más de sus múltiples sistemas de producción, dando un paso más allá de la producción para la autosubsistencia para incursionar en el terreno del mercado, en el cual, buena parte de ellos se encuentran avanzados. No obstante que las prioridades de los productores cafetaleros están en el ámbito de la comercialización, algunos factores técnico-ambientales les preocupan hoy en día, tal como es el caso del manejo de la sombra y su relación con los componentes más importantes del sistema. Fueron estas preocupaciones las que motivaron esta tesis. El trabajo de investigación comenzó como parte del proyecto "Captura de Carbono y Manejo Forestal Comunitario" el cual se lleva a cabo entre El Colegio de la Frontera Sur, la Unión de Crédito Pajal Yak'actic y la Unión Regional de Ejidos Agropecuarios, Forestales y de Agroindustrias de la Zona Norte de Chiapas (UREAFA), que aglutina a productores en diversas zonas del estado de Chiapas.

Esta investigación se realizó con la participación y el interés de los productores de las comunidades Alan K'antajal, Cololteel y Muquenal del Municipio de Chilón, y de la comunidad de Franciso I. Madero, Municipio de Jitotol a quienes agradezco grandemente, esperando que los resultados puedan servir como base para el diseño de alternativas para la producción y la comercialización del café de sombra.

Este trabajo fue financiado por la Comisión Nacional para el Uso y Conservación de la Biodiversidad (CONABIO), el Sistema de Investigación Benito Juárez del CONACYT y el ECOSUR a quienes agradezco ampliamente.

Agradezco también a todos los que hicieron posible esta tesis. A mis asesores, los Doctores Javier Caballero Nieto, Gerardo Segura Wharnolts y Dr. Robert Bye por su valiosas y atinadas recomendaciones y sugerencias y a los sinodales del examen de grado: Dra. Cristina Mapes, Dr. Alejandro Casas, Dr. Miguel Musalem y Dr. Laksmi Krishnamurthy les doy las gracias por sus inestimables comentarios a la tesis. Las siguientes personas participaron y apoyaron esta tesis en diferentes momentos y aspectos: Dra. Ivette Perfecto, Dr. John Vandermeer, Biol. Juan Castillo Hernández, M en C. Yolanda Romero Alvarado, Dr. Juan Francisco Barrera Gaytán, Lic. Johnny Pérez, Dr. Laksmi Krishnamurthy, Dr. Miguel Musálem, Dr. Donald Kass, Dra. Kristen Nelson, Dr. John Beer, Dra. Helda Morales, C.P. Jorge Pinto y Sr. Manuel de J. Martínez Gómez, a ellos mi reconocimiento. Agradezco profundamente a mi familia, a mi compañero Guillermo Jiménez Ferrer, a mis hijos Estelí y Manuel Antonio y a mi madre Luz María, por su cariño y comprensión.

## Resumen

El presente trabajo se llevó a cabo en parcelas de productores en comunidades indígenas del norte de Chiapas, México. Tuvo por objetivo contribuir al conocimiento de las interacciones más importantes que se establecen entre la estructura y diversidad de la vegetación de sombra y los principales indicadores de productividad y salud del agroecosistema de café. Es una investigación de tipo estratégico, investigación básica que puede coadyuvar en el diseño de intervenciones tecnológicas así como en la definición de criterios para evaluar la salud del agroecosistema y para la certificación de un café de especialidad.

Se midieron los atributos de estructura y diversidad de la vegetación de sombra y los rendimientos. Como indicadores de la salud del sistema se evaluaron la incidencia de roya (*Hemileia vastatrix* B. & Br.), la incidencia de broca (*Hypothenemus hampei* Ferr.), la cobertura de arvenses, el contenido de nutrimentos en el suelo y nutrimentos absorbidos por las hojas de café. Se estudiaron las interrelaciones entre estas variables.

Los resultados mostraron que el cafetal es un agroecosistema complejo en su estructura y diversidad, con altas coberturas, densidades de árboles o arbustos y riqueza de especies leñosas. Se encontraron 79 especies de sombra, las cuales constituyen el 40% de la flora de selvas tropicales y bosques mesófilos de la región. Se encontraron cuatro grupos de cafetales por su composición florística: un grupo de especies diversas, otro con la presencia de *Inga pavoniana*, otro más con la presencia de *Inga punctata* y un tercer grupo con ambas especies de *Inga*. Los estudios sobre cobertura y productividad mostraron que una cobertura

alrededor de 45% presentó los mejores rendimientos de café. Los niveles de incidencia de broca, roya y arvenses fueron bajos y no requieren control. A mayor número de estratos de vegetación bajó la incidencia de roya, mientras que a mayor diversidad y densidad de árboles de sombra bajaron la cobertura de arvenses de hoja ancha y angosta, respectivamente. Al parecer, la heterogeneidad del sistema favorece un control de las poblaciones del hongo y las arvenses, como han sugerido las teorías ecológicas que postulan que la complejidad taxonómica y estructural puede funcionar como barrera contra la dispersión de esporas, favorecer nichos de especies antagonistas de los hongos o depredadoras de polinizadores de arvenses. El estado nutricional del sistema puede considerarse bueno, presenta altas cantidades de materia orgánica, alta capacidad de intercambio de cationes y los niveles de N, P, K, Ca y Mg son adecuados para la producción de café. No obstante, se observó una competencia por fósforo entre la vegetación de sombra y las plantas de café. Se discuten las ventajas de estos agroecosistemas y su potencial para conservar biodiversidad y ofrecer productos y servicios que incrementen los ingresos de las familias campesinas, así como algunas perspectivas de investigación y desarrollo.

**Palabras clave:** café, *Coffea arabica*, sombra, agroecología, agroforestería, interacciones, roya, *Hemileia vastatrix*, broca, *Hypothenemus hampei*, arvense, nitrógeno, fósforo, potasio, nutrimentos, estructura, diversidad.

## Abstract

This research was carried out in coffee-growers plots among indigenous villages in northern Chiapas, Mexico. The objective was to contribute to know about the most important interactions that are between structure and diversity of shade vegetation with productivity and health indicators in the shaded coffee agroecosystem. It was a strategic research, basic investigation that can aid to design technological intervention to define criteria for agroecosystem health and for certification of specialty shade coffee. Structure and diversity attributes for shade vegetation were measured. As health indicators, coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* B. & Br.), coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferr.), weed cover, soil nutrient content and nutrients absorbed by coffee leaves were measured. Interrelationships among these variables were studied.

Results showed a complex agroecosystem in structure and diversity. This agroecosystem presented high vegetation cover, tree or shrub density and woody species richness. The 79 plant species found constitute 40% of the flora of regional tropical and montane forest. Four groups of coffee stands based on their floristic composition were found: one group with diverse species, a second group with the presence of *Inga pavoniana*, other group with presence of *Inga punctata* and a latest group with the presence of both species of *Inga*. A shade vegetation cover around 45% presented the best coffee yields. Berry borer, leaf rust and weed incidences were low and do not require control. A higher number of shade vegetation strata decreased leaf rust, while with higher tree diversity and density decreased broad and grazie weed cover, respectively.



It seems that the heterogeneity of the system favors a control of the studied fungi and weeds population, as has been proposed by the ecological theories which postulate that the taxonomical and structural complexity can function as barrier for spore dispersion, or favors niches for antagonistic fungi or predators of weeds pollinators. The nutritional status of the system can be considered good, since it presents high quantities of organic matter, high cation exchange capacity and the levels of N, P, K, Ca and Mg are good for the coffee production. Nevertheless, these good levels, a competence for Phosphorus between shade vegetation and coffee plants was observed. Advantages of this agroecosystem and its potential for conserving biodiversity and for offering products and services for increasing the income for producer families as well as the research and development perspectives are discussed.

**Key Words:** coffee, *Coffea arabica*, shade, agroecology, agroforestry, interactions, leaf rust, *Hemileia vastatrix*, berry borer, *Hypothenemus hampei*, weeds, nitrogen, phosphorus, potash, nutrients, structure, diversity.

## INDICE

Prefacio	
Resumen	
Abstract	
I. Introducción general	2
1.1. Contenido por capítulos	2
1.2. Importancia del estudio de los agroecosistemas en las Ciencias Biológicas	4
1.3. Los sistemas agroforestales	6
1.4. Importancia de la producción de café en México	8
1.5. Los sistemas de producción de café desde la perspectiva técnica-ecológica	9
1.6. El concepto de "salud" del agroecosistema	16
1.7. Diversidad biológica e incidencia de plagas, enfermedades y malezas en sistemas agroforestales	18
1.8. Ciclaje de nutrimentos en los sistemas de producción de café	20
1.9. Estado del arte de los estudios en cafetales	23
1.10. Objetivos	26
1.10.1. Objetivo general	26
1.10.2. Objetivos particulares	26
1.11. Alcances de esta tesis	27
II. Metodología general	30
2.1. El área de estudio	31

2.1.1. Jitotol	31
2.2.2. Chilón	32
2.2. Materiales y métodos	33
III. Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee plantations in north Chiapas, Mexico	37
3.1. Abstract	39
3.2. Introduction	40
3.3. Materials and methods	41
3.3.1. Study area and selection of sampling sites	42
3.3.2. Measurements of coffee stand structure and diversity	43
3.4. Results	44
3.5. Discussion	48
3.6. Resumen	51
3.7. Acknowledgments	52
3.8. Literature cited	52
IV. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico	67
Abstract	68
1. Introduction	68
2. Materials and methods	69
2.1. Study area and selection of sampling sites	69
2.2. Coffee stand structure and measurements	70
2.3. Statistical analysis	70
3. Results	71
3.1. Coffee stand's structure	71

3.2. Coffee yields	74
4. Discussion	74
Acknowledgements	75
References	75
V. Vegetation complexity and effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in shaded coffee plantations	77
5.1. Abstract	79
5.2. Introduction	80
5.3. Methods	82
5.3.1. Study area and selection of sampling sites	82
5.3.2. Vegetation variables	84
5.3.3. Estimates of berry borer, leaf rust incidence and spontaneous herbs	86
5.3.4. Statistical analyses	87
5.4. Results	88
5.4.1. Vegetation structure and species richness	88
5.4.2. Berry borer, leaf rust incidences and spontaneous herb cover	89
5.4.3. Factors affecting berry borer, leaf rust and spontaneous herbs	91
5.5. Discussion	95
5.6. Acknowledgements	100
5.7. References	100
VI. Interacciones entre estructura de la vegetación, nutrimentos del	108

suelo y análisis foliar en cafetales sombreados del norte de Chiapas,  
México.

6.1. Resumen	109
6.2. Introducción	110
6.3. Materiales y métodos	112
6.3.1. El área de estudio y selección de sitios de muestreo	112
6.3.2. Mediciones de la estructura y composición del cafetal, características químicas del suelo y análisis foliar del cafeto	113
6.3.3. Análisis estadístico	115
6.4. Resultados	116
6.5. Discusión	123
6.6. Agradecimientos	128
6.7. Referencias	129
VII. Discusión general	135
7.1. Importancia del café en México	136
7.2. El sistema de café y la biodiversidad	138
7.3. Interacciones agroecológicas del cafetal son sombra	141
7.4. Recomendaciones	144
7.5. Perspectivas de investigación y desarrollo	150
VIII. Literatura citada en los apartados generales	151

## Capítulo I

# **Introducción general**

## **I. Introducción general**

### **1.1. Contenido por capítulos**

El capítulo I es esta introducción en la cual se aborda la importancia del estudio de los agroecosistemas en las ciencias biológicas, los sistemas agroforestales, la importancia de la producción de café en México, los sistemas cafetaleros desde la perspectiva técnica-ecológica, el concepto de salud del agroecosistema, la diversidad biológica y su relación con la salud del sistema, el ciclaje de nutrimentos, el estado del arte de los estudios en cafetales y los objetivos de esta tesis.

El capítulo II describe de manera general la metodología, incluyendo la parte del diagnóstico participativo, etapa que se usó como base del resto del trabajo, pero que no se describe en ningún otro apartado.

El capítulo III analiza y discute la estructura y diversidad de especies leñosas de los cafetales en dos municipios de la zona norte de Chiapas, México: Jitotol y Chilón. Compara la riqueza de especies de los cafetales con la flora regional reportada para la franja cafetalera por los principales documentos publicados de la región. Analiza la frecuencia de especies según clases de iluminación y formas de copas y discute la importancia de estos factores como hábitats para flora y fauna asociada. El análisis multivariado muestra la heterogeneidad de las parcelas por su diversidad, la tipología de cafetales muestra cuatro grupos según la presencia (no en todos los casos dominancia) de especies de *Inga*. Este capítulo está en prensa en la Revista de Biología Tropical (Costa Rica).

En el capítulo IV se describe en general la cafeticultura de la zona tzeltal

norte de Chiapas, México. Se evalúan 36 parcelas de café con plantas en edad productiva entre 5 y 15 años, bajo una mezcla de las variedades Caturra, Borbón, Mundo Novo y Typica. Se discuten las relaciones entre variables del medio natural: exposición, altura y pendiente; la estructura de la sombra: número de estratos de la vegetación, la densidad y equitabilidad de árboles/arbustos de sombra, luz directa y difusa bajo el dosel, diversidad y riqueza de especies, área basal y altura promedio de los árboles; y variables tecnológicas: densidad de plantas de café y número de ramas productivas y la producción del grano de café, así como la disponibilidad de recursos derivados del cafetal. Se propone un modelo estadístico que relaciona la cobertura de la sombra y la densidad de cafetos con la producción. Se ofrece una lista de las especies leñosas y sus usos locales, así como un perfil vertical a escala del cafetal. Este capítulo está publicado en *Agriculture, Ecosystems & Environment* 80(2000):61-69.

En el capítulo V se analizan y discuten las relaciones entre la estructura de la sombra, variables ambientales y tecnológicas e indicadores de la salud del sistema de café: incidencia de broca (*Hypothenemus hampei* Ferr.), incidencia de roya (*Hemileia vastatrix* B & Br.) y cobertura de malezas de hoja ancha y hoja angosta. Las variables ambientales, de estructura y diversidad de la vegetación de sombra fueron mencionadas arriba. Las variables tecnológicas consideradas fueron: densidad de cafetos, número de ramas productivas, presencia de escorrentías y caminos cerca de la parcela. Se ofrecen datos, gráficos de distribución y regresiones sobre relaciones entre las variables del ambiente físico y biológico y la incidencia de broca, roya y malezas. Este capítulo está sometido a la *Revista Agroforestry Systems*.



El capítulo VI resalta las relaciones entre la estructura de la vegetación y las siguientes variables del suelo: nitrógeno total, fósforo extraíble, potasio, calcio, magnesio, capacidad de intercambio de cationes, pH y cationes intercambiables y su relación con el contenido de nutrimentos en las hojas. El contenido de N foliar fue usado como indicador de la capacidad fotosintética de la planta.

El capítulo VII retoma el problema original de la tesis. En él se hace una discusión general que aborda la importancia del café en México, la relación del sistema de café y la biodiversidad y las interacciones agroecológicas estudiadas, se plantean algunas recomendaciones y las necesidades de investigación futura. Un resumen de éste capítulo fue publicado por la Revista Ecofronteras 12:16-17 (Órgano de Difusión de El Colegio de la Frontera Sur, México).

En el capítulo VIII se enlista la bibliografía citada en los capítulos generales de introducción, metodología y discusión.

## **1.2. Importancia del estudio de los agroecosistemas en las Ciencias Biológicas**

La agroecología pone atención en los procesos biológicos que subyacen en el funcionamiento de los agroecosistemas. Entendida como el estudio de las relaciones entre cultivos y su ambiente (Rabbinge, 1986), define, clasifica y estudia los sistemas agrícolas desde una perspectiva ecológica y socioeconómica (Altieri, 1983, 1987, 1989). Esta disciplina integra las técnicas y paradigmas de la ecología con las prácticas de las ciencias agrícolas para el estudio de los agroecosistemas (Edwards y colaboradores, 1993).

En las últimas tres décadas, las ciencias biológicas se han visto enriquecidas por la agroecología con nuevos métodos para describir los agroecosistemas, sus funciones y las interacciones entre sus componentes, incluyendo factores económicos, sociales y culturales; considerando al hombre como parte integral del agroecosistema y como director de la toma de decisiones en el proceso agrícola. Las ciencias biológicas también se han nutrido de metodologías para determinar los factores que limitan y potencian el logro de objetivos socioeconómicos y productivos, así como del diseño de las intervenciones, evaluaciones experimentales en parcelas de los productores, evaluación de tecnologías y su rediseño. Muchas de las teorías ecológicas actuales se han desarrollado en los agroecosistemas (Edwards, et al. 1993). Por ejemplo, mucha de la literatura de ecología de insectos se ha desarrollado en sistemas agrícolas con el objetivo de control de plagas (Andrewartha, 1954); estudios sobre balance y ciclaje de nutrimentos han explicado la nutrición de los principales cultivos, el papel de la materia orgánica y el papel de los fertilizantes inorgánicos en la productividad (Ewell, 1986; Edwards, 1993); estudiosos de las poblaciones de malezas han generado teorías sobre las estrategias de establecimiento, dispersión y competencia entre las malezas en cultivos agrícolas (Wit y Bergh, 1965; Chancellor, 1985; Baker, 1991); estudios de sucesión secundaria también se han abordado en sistemas agrícolas (Ewell, 1986; González-Espinosa et al. 1991); al igual que los estudios sobre diversidad biológica (Perfecto et. al., 1996), genética y procesos de domesticación (Bye, 1981; Casas et al, 1997). Anteriormente el estudio sobre los recursos suelo, agua, bosques, recursos genéticos y la optimización de su uso habían sido estudiados

por parte de las ciencias biológicas principalmente en sistemas naturales no perturbados.

La agroecología ha ofrecido a las ciencias biológicas un conjunto de retos por resolver y la apertura de nuevos campos disciplinarios por atender como necesidades concretas para el diseño de una agricultura sustentable tales como el estudio de las poblaciones de insectos, organismos patógenos, malezas, ciclaje de nutrientes, organismos simbióticos con cultivos, patrones de sucesionalidad y genética de plantas cultivadas y animales domésticos. Pocos biólogos y ecólogos trabajan actualmente en equipos interdisciplinarios y en proyectos de vinculación con el sector social, tratando de diseñar sistemas alternativos de producción en conjunto con las comunidades rurales y de encontrar nuevas formas de participación comunitaria, organización, capacitación, extensión y evaluación para proyectos de desarrollo en el medio rural de los países en vías de desarrollo (Castillo y Toledo, 2000).

Esta nueva tendencia en la investigación de los sistemas agrícolas ha permitido un mejor entendimiento de los factores que determinan la productividad de la tierra (Hernández et al., 1981; Parra-Vázquez, 1987), su desarrollo permitiría desarrollar nuevas formas, más integradas de conciliar la producción con la conservación de los recursos y la salud humana (Wright, 1990; Rapport et al., 1998; Castillo y Toledo, 2000).

### **1.3. Los sistemas agroforestales**

Los sistemas agroforestales (SAF) son combinaciones de árboles con

cultivos y/o animales en la misma unidad de tierra o en secuencia temporal (Nair, 1993). El diseño de SAF retoma atributos de los sistemas naturales (silvestres) tales como la sucesionalidad, el ciclaje de nutrientes con mínimas pérdidas, la estabilidad, equitabilidad, productividad y diversidad (Ewell, 1986). Existen similitudes entre los SAF (especialmente los sistemas agrosilvícolas con cultivos perennes) y los sistemas naturales. Estas similitudes se ubican en los renglones de la conservación de suelo, agua, flora y fauna, alta diversidad de especies, alta cobertura, altas densidades de especies leñosas, estabilidad climática y productiva, ciclaje de nutrientes con balances positivos, baja susceptibilidad a la erosión, mejoramiento en el microclima, mantenimiento del clima global, regulación de poblaciones de plagas, patógenos y malezas, uso positivo de la sombra y otras ventajas de orden socioeconómico (Young, 1989; MacDicken y Vergara, 1990; Prinsley, 1992; Budowski, 1993; Nair, 1993; Beer et al., 1998). Ejemplos de estos sistemas agroforestales son los cafetales, cacaotales, huertos familiares o los sistemas de barbecho.

Muchos de los sistemas agrícolas tradicionales indígenas y campesinos que aún subsisten en diversos países en desarrollo, han demostrado tener un papel importante en el mantenimiento de los sistemas ecológicos por su contribución en la conservación de los suelos, clima, agua y biodiversidad (Altieri, 1987, Wilken, 1977; Toledo, 1994). Tal es el caso de los cafetales con sombra o rústicos, que imitando la estructura y diversidad de las selvas y bosques se han considerado recientemente como refugio de biodiversidad, especialmente en áreas deforestadas. Se ha estudiado su importancia en la conservación de aves (Aguilar-Ortiz, 1980; Greenberg, et al., 1997, 1997a), mamíferos (Estrada et al.,

1993; Gallina et al., 1996), reptiles (Seib, citado por Perfecto et al.1996), insectos (Torres, 1984; Perfecto et al, 1997), arácnidos (Ibarra-Núñez, 1990), plantas leñosas (Purata y Meave, 1993), orquídeas (Nir, 1988) y suelos (Bermudez, 1980; Wiersum, 1984; León, 1990).

#### **1.4. Importancia de la producción de café en México**

El cultivo del café reviste especial significancia en México, ya que es el producto agrícola de exportación más importante. México, con una producción de 303,191 Mt de café pergamino, ocupa el sexto lugar en producción de café en el mundo, después de Brasil, Colombia, Vietnam, Indonesia y Costa de Marfil (FAO, 1999). En la segunda mitad del S. XX, el incremento de la demanda, principalmente de Estados Unidos, cambió drásticamente el paisaje en México, desplazando la producción tradicional de cacao, tabaco (Early, 1982) y caña de azúcar por sistemas agroforestales de café. Los altos precios del café durante la década de los setenta motivó en Latinoamérica el desarrollo de este cultivo, el cual se convirtió en un importante generador de divisas. El café latinoamericano es exportado a diferentes países consumidores, entre los que destacan Estados Unidos, países de la Unión Europea y Japón.

En México, el café se cultiva principalmente por productores campesinos. De la superficie total cultivada de café, el 92% corresponde a pequeños productores con menos de 5 hectáreas, el 60% de los productores pertenecen a ejidos o comunidades, siendo más de la mitad de ellos, indígenas, representantes de 32 grupos étnicos (Moguel y Toledo, 1996).

Los principales estados productores de café son Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla, Guerrero e Hidalgo. El café es cultivado en el piso de la vegetación natural, en donde los productores eliminan algunos árboles, dejando entre 40 y 80% de cobertura como sombra para el café. El 40% de la superficie cultivada con café corresponde a selvas altas y medianas, 23% a bosques de pino-encino, 21% a selvas bajas caducifolias y 15% a bosques mesófilos de montaña (Moguel y Toledo, 1996).

El cultivo del café como sistema agroforestal, combina el cultivo del aromático con árboles de sombra, imita la estructura, biodiversidad y ciclo de nutrientes del bosque, tiene una producción de hojarasca muy alta, una escasa producción primaria del estrato herbáceo, baja susceptibilidad a la erosión edáfica, y un ambiente físico más estable que el café sin sombra, y mínimas pérdidas de nutrientes (Jiménez-Avila, 1981; Jiménez-Avila y Gómez-Pompa, 1982; Roskoski, 1982; Barradas y Fanjul, 1984, 1986; Beer, 1988; Ramos et al. 1982; Nair, 1989).

### **1.5. Los sistemas de producción de café desde la perspectiva técnica-ecológica.**

La planta de *Coffea arabica* L., es una Rubiaceae originaria de la alta Etiopía, de donde fue transportada a Arabia en el S. XVI. Fue en este último lugar en donde se descubrieron sus propiedades como bebida estimulante, llegando a Europa en 1616, de donde se distribuyó por todo el mundo. Alemania extendió plantaciones de café en Sri Lanka (Ceylán) y las Indias Orientales. Con estos

antecedentes, arbustos de estas plantaciones fueron enviadas al Jardín Botánico en Amsterdam en 1706, pero sólo una planta sobrevivió. Semillas de ésta única planta se distribuyeron por Europa, incluyendo el Jardín de Plantes en París. Los franceses trasladaron las semillas de la única planta sobreviviente del café a la Isla Martinica de donde se cree que se distribuyó hacia el resto de Las Antillas y Sudamérica (Fulvio, 1947).

El uso predominante de *Coffea arabica* puede atribuirse a sus características de planta auto-compatible, poliploide ( $2n=44$ ). La introducción del café al Nuevo Mundo fue posible porque la planta enviada a Amsterdam fue capaz de producir semillas viables por auto-polinización y auto-fertilización; otras especies de café no tienen estas propiedades (Wringley, 1988).

Plantaciones rústicas en Africa se encuentran entre 1000 y 2000 m.s.n.m., desde áreas relativamente secas hasta áreas con precipitaciones anuales de 2000 mm. Estudios en plantaciones antiguas describen a los cafetales Africanos muy similares a los cafetales rústicos que han sido descritos para Latinoamérica (Sylvain, 1958). En Africa la planta de café se encuentra como parte del sotobosque de la vegetación tropical, con una mezcla de plantas de diferentes especies, alturas y estructuras que forman en general cuatro estratos de vegetación leñosa, dos de arbustos y dos de árboles (Sylvain, 1958). La composición florística de la sombra de Africa incluye géneros encontrados también en América como *Albizzia*, *Chrysophyllum*, *Cordia*, *Croton*, *Ehretia*, *Ficus*, *Manilkara*, *Syzygium* y *Sideroxylon* (Sylvain, 1958). Todavía en la primera mitad del S. XX, el sistema de café en Africa tuvo un escaso manejo y rendimiento. El manejo consistía únicamente de la remoción del estrato bajo, el desrame y aclareo

selectivo de los árboles de sombra y el aclareo o incremento de plantas de café para dejar alrededor de 1000 plantas/ha, con rendimientos entre 150 y 200 kg por hectárea (Sylvain, 1958).

En las últimas tres décadas, el sistema de producción de café en el mundo ha atravesado por un proceso de modernización originado por varios factores. El primero de ellos fue la influencia de la revolución verde, movimiento que influyó en la aplicación de insumos químicos, la introducción de semillas mejoradas y el desombre; el segundo fue debido a supuestos con relación a incrementos en rendimientos originados por el desombre de los cafetales; y el último, debido a un severo ataque de roya, la principal enfermedad del café ocasionada por el hongo *Hemileia vastatrix* Berk & Br. en Africa, atribuido al exceso de sombra (Coyner, 1960), no obstante que Sylvain (1958) había advertido que la remoción completa de los árboles superiores provocaba enfermedades en los cafetos y observaba sólo un ligero ataque de roya en plantaciones sobreadas. A partir de los años sesenta, comenzó un proceso de modernización del sistema de café que ha llevado a la conversión de cafetales con sombra diversa a cafetales con sombra poco diversa, cafetales con sombra de una sola especie y en el caso más extremo a cafetales sin sombra (Escamilla et al., 1994). Estas modificaciones al sistema fueron adoptadas por la mayoría de los países productores de café. En Latinoamérica fueron Brasil, Venezuela y Costa Rica los que modificaron el sistema con mayor intensidad. Junto con el cambio en estructura y diversidad de la sombra se incluyeron la aplicación de fertilizantes y pesticidas, y el uso de variedades mejoradas adaptadas al pleno sol. En México este cambio no ocurrió tan drásticamente, debido, por un lado, a la falta de recursos económicos por parte



de los productores para adoptar el paquete tecnológico completo y, por otro, a la lógica de uso múltiple de los productores campesinos mexicanos, quienes obtienen de sus cafetales no sólo grano de café, sino también madera, leña, forrajes, alimentos, plantas medicinales y ornamentales, así como animales silvestres para su consumo, entre otros productos y servicios.

De las modificaciones al sistema original se desprende un amplio gradiente de tipos de sombra, según la estructura que muestra la vegetación. Para fines prácticos, algunos autores han resumido este gradiente en una tipología que incluye: sistema rusticano o de montaña, policultivo tradicional o "jardines de café, policultivo comercial, monocultivo bajo sombra y café a pleno sol (Escamilla et al. 1994; Moguel y Toledo, 1996).

Actualmente, se estima que entre 60 y 70% del café se produce bajo una sombra de árboles nativos o introducidos, en tanto que de un 30 a 40% son sistemas tecnificados y especializados con o sin sombra (Nolasco, 1985; Nestel, 1995; Moguel y Toledo, 1999).

Se ha observado que el proceso de desombre ha traído consigo en algunos casos mayor producción, lo cual implica mayores consumos de nutrimentos y por lo tanto el requerimiento de fertilizantes (Jimenez-Avila y Martinez, 1979; Rice, 1997). El desombre también ha traído como consecuencia mayor erosión del suelo (Ataroff y Monasterio, 1977), microclima extremoso (Barradas y Fanjul, 1984) y mayor incidencia de arvenses, de algunas plagas y enfermedades (Beer, et al. 1998). Algunos de estos problemas han sido solucionados en el corto plazo con aplicación de insumos, lo cual ha ocasionado un costo adicional a la producción y otras consecuencias de tipo ecológico como la acidez y contaminación del suelo,

contaminación del agua, pérdida de materiales genéticos y pérdida de la estabilidad del sistema (ruptura de cadenas tróficas). Otros problemas económicos, sociales y culturales son también consecuencia de este proceso de intensificación (Jiménez-Avila, 1981).

Los efectos de la sombra de árboles en las plantaciones de café fueron descritas desde el siglo diecinueve por Lock (1888), quien señaló que la necesidad de la sombra dependía del clima, el cual influía en la longevidad de la planta, pues prevenía la evapotranspiración excesiva, mantenía y mejoraba la fertilidad del suelo, incrementaba la cantidad de hojarasca, se obtenían valores adicionales de la madera y otros productos. Otros trabajos que describieron beneficios de la sombra a finales del siglo diecinueve y la primera mitad del siglo veinte fueron los de Saenz (1895), Cook (1901), Instituto Nacional del Café de Venezuela (1942) y Ortega (1951).

La presencia de árboles en agroecosistemas tiene múltiples ventajas biológicas y socioeconómicas (Nair, 1993). Entre las ventajas biológicas están: la mejor utilización del espacio, lo cual resulta en un incremento total de producción de biomasa potencial (Vandermeer, 1992). Se ocupan diferentes nichos ecológicos aprovechando mejor el recurso luz, los nutrientes y el agua del suelo (Torquebiau, 1994). Se promueve el mejoramiento de las características químicas, físicas y biológicas del suelo y mediante la caída de hojarasca, se mantiene el bombeo y recirculación de nutrimentos (Young, 1989; Beer, 1987). Se reduce el potencial de erosión del suelo mediante la cobertura de las copas de los árboles, de los cultivos y de la hojarasca (Ataroff y Monasterio, 1977; Jimenez-Avila y Gómez-Pompa, 1982). Se reducen los cambios extremos en el microclima del

agroecosistema (Barradas y Fanjul, 1984). Los árboles ayudan a reducir las pérdidas de agua por exceso de transpiración en las horas más cálidas del día (Franco, 1951) y ayudan a prevenir pérdidas de calor en la noche a los cultivos asociados (Caramori et al. 1996). La incidencia de plagas puede decrecer (Tapley, 1961; Ahenkorah et al. 1974; Natarajah y Subamanian, 1975; Smith, 1981; Eskes, 1982; Campbell, 1984). La presencia de árboles puede servir como soporte físico para trepadoras herbáceas o epifitas y la sombra puede reducir los desbalances nutricionales del cultivo (Beer, 1988).

Se ha estudiado el papel que juegan los cafetales en la conservación de nichos de artrópodos (Stork y Brendell, 1990; Moron y López-Méndez, 1985; Torres, 1984; Nestel, 1995; Perfecto et al. , 1996), aves (Greenberg, et al., 1997, 1997a), mamíferos (Gallina et al., 1996; Estrada et al. 1993) y plantas (Purata y Meave, 1993; Nir, 1988) e incluso se ha reportado, por ejemplo, en el caso de las aves, que en cafetales con estructura y diversidad complejas, se ha encontrado una riqueza de especies comparable a la de hábitats de bosque natural (Aguilar-Ortiz, 1980; Corredor, 1989 y Greenberg et al. 1997). Brash (1987) sugirió que la tasa relativamente baja de extinción de aves en Puerto Rico actualmente, se ha debido en parte a la presencia de plantaciones de café. Asimismo, Nir (1988) argumentó que muchas orquídeas raras sobrevivieron a la deforestación en Puerto Rico en fincas de café. Purata y Meave (1993) encontraron que plantaciones rústicas en México constituyeron el único hábitat para varias especies de árboles de bosque en elevaciones medias. Estudios sobre artrópodos han descrito la diversidad en cafetales y encontrado que el número de artrópodos de cafetales duplicó el número de artrópodos de los bosques de elevaciones medias del

sureste asiático (Stork y Brendell,1990). Torres (1984) reportó una mayor diversidad de hormigas en cafetales que en bosques naturales de Puerto Rico.

Por otro lado, no obstante que el cafetal puede jugar un significativo papel en la conservación de especies a través de la vegetación de sombra, el principal inconveniente atribuido a la sombra es la competencia y la incidencia de plagas y enfermedades (Fonseca, 1939, Dakwa, 1980, Smith, 1981; Wringley, 1988, ICAFE, 1989). Se han realizado estudios que han indicado un decremento de la producción cuando se usa una alta densidad de árboles (Escalante, 1995; Hernández et al., 1997). Sin embargo, estos estudios han abordado únicamente la densidad de árboles, pero no la cobertura de la sombra. Adicionalmente, los resultados sobre plagas, enfermedades y malezas y su relación con la luz en cafetales son contradictorios, algunos reportan un incremento de estos factores con la luz (Fonseca, 1939; Wringley, 1988; ICAFE, 1989), mientras que otros reportan una disminución (Nataraj and Subramanian, 1975; Eskes, 1982; Barrera y Covarrubias, no publicado). Sin embargo, estudios realizados en sistemas agrícolas han demostrado que la heterogeneidad espacial y la diversidad biológica puede controlar plagas, enfermedades y malezas. Diferentes morfologías de las plantas pueden producir un efecto de barrera física bajando la velocidad del viento y limitando la dispersión de esporas (Mundt y Leonard, 1985; Aylor, 1990) o pueden alojar diversos organismos patógenos o depredadores que controlen a las arvenses o a sus polinizadores. Diversos contenidos químicos en las plantas pueden favorecer relaciones alelopáticas entre plantas y controlar así a las malezas (Lovett, 1991). La heterogeneidad puede favorecer la existencia de nichos de organismos antagonistas de los hongos como protozoarios, bacterias o

espiroplasmas (Liu, 1992). Desafortunadamente no se han llevado a cabo estudios de este tipo en cafetales (Beer, et al. 1998).

## **1.6. El concepto de “salud” del agroecosistema**

El diccionario de la lengua española define el término salud como un estado del que no tiene ninguna enfermedad (García-Pelayo, 1993). Un organismo es saludable cuando sus funciones vitales se comportan normal y propiamente, cuando es capaz de recobrase del estrés normal y cuando requiere un mínimo de cuidado externo. Un ambiente es saludable cuando el abasto de bienes y servicios requeridos por sus residentes humanos y no humanos es sostenido (Karr y Chu, 1999: p.16). Haskell et al. (1992) definen un ecosistema saludable como aquel que es estable y sostenible, que mantiene su organización, su autonomía en el tiempo y su resiliencia. Por su parte, Suter (1993) señala que la salud es una metáfora inapropiada porque no es una propiedad ecológica observable. De acuerdo con este autor, la salud es una propiedad de los organismos y no de los ecosistemas; sin embargo, otros autores están en desacuerdo con Suter; por ejemplo Karr y Chu (1999) afirman que esta es una posición que reconoce sólo la definición estrecha del diccionario. Calow (1992) propone que esta propiedad de los organismos involucra diferentes principios y que el concepto de salud puede aplicarse a los ecosistemas. Este último autor distingue entre aplicar el concepto de una forma ligera para designar normalidad (una condición esperada) y una forma determinante para designar la existencia de un proceso homeostático que retorna los sistemas perturbados a la normalidad. Rapport et al. (1998) señalan

que los esfuerzos por mantener la salud del ambiente deben considerar los usos humanos y los productos y servicios derivados del ecosistema. Regier (1993) y Meyer coinciden con Rapport et al. (1998) en que el concepto de salud del ecosistema debe involucrar valores sociales. Por su parte, Constanza (1992) propone como indicador de un ecosistema saludable el vigor de un sistema, la organización y la resiliencia. Define vigor como una medida de la actividad, metabolismo o productividad primaria; organización como la diversidad y número de interacciones entre componentes del sistema; y resiliencia como la capacidad del sistema de mantener la estructura y función en presencia de estrés.

No obstante que cada día hay más investigaciones sobre la salud y los cambios que atraviesan los ecosistemas con la modernidad, es necesario conocer el gradiente desde un estado poco saludable hasta un estado ideal y de ahí proponer indicadores de salud para cada ecosistema.

Aunque no he encontrado literatura que defina y describa el concepto de salud en agroecosistemas, en este trabajo se usará la combinación de los conceptos de salud arriba definidos por Constanza (1992) y Rapport (1998).

Los indicadores de salud del agroecosistema de café con sombra utilizados en este trabajo fueron los siguientes: la incidencia de roya (*Hemileia vastatrix*), la incidencia de broca (*Hypothenemus hampei*), la presencia de malezas, la cobertura de arvenses, el nivel de nutrimentos en el suelo y el nivel de nutrimentos absorbidos por las hojas del cafeto.

## **1.7. Diversidad biológica e incidencia de plagas, enfermedades y malezas en sistemas agroforestales**

A lo largo de la historia el hombre ha simplificado sus sistemas productivos, estos sistemas han perdido los atributos de protección en términos de regulación de las poblaciones que pueden convertirse potencialmente en plagas, enfermedades o malezas de los cultivos (Wilken, 1977; Root, 1973). Se sabe que la homogeneización del paisaje agrícola trae consigo el desarrollo de insectos plaga y enfermedades de las plantas, ya que en ecosistemas naturales, las plantas huéspedes y sus enemigos han coevolucionado a través del tiempo y sus dinámicas se ajustan mutuamente (Altieri y Letorneau, 1982). Sistemas agroforestales tradicionales en los trópicos comúnmente contienen una gran cantidad de especies de plantas (Wiersum, citado por Altieri y Merrick, 1987). Los policultivos proveen una diversidad de nichos y complejidad en tiempo como en espacio, lo cual los hace tener un mayor control sobre plagas de los cultivos y por lo tanto pueden contribuir sustancialmente a la diversidad, sostenibilidad y ajuste de los agroecosistemas en el largo plazo (Risch y colegas, 1983; Stamps y Linit, 1998). Se ha comprobado que sistemas agrícolas diversificados pueden reducir el ataque de insectos (Perrin, 1977; Kass, 1978; Nickel, 1973, Litsinger y Moody, 1976), así como de nemátodos (McBeth y Taylor; Khan et al.; Atwal y Mangar; Castillo et al. citados por Vandermeer y Schultz, 1990) y enfermedades (Moreno y Mora, 1984; Rheenen et al, 1981). Sin embargo estudios de este tipo en cafetales no se conocen.

Se han formulado hipótesis que explican las relaciones entre la diversidad de cultivos y el control de insectos plaga. Resumidamente, se puede decir que hay

dos hipótesis. La primera se basa en que los sistemas diversificados evitan la concentración de un mismo recurso. Cuando existe concentración, se provoca la atracción de poblaciones de insectos, por ejemplo, que pueden convertirse en plagas, por el contrario, una combinación de cultivos en el mismo terreno promueve diferencias estructurales y químicas de las plantas las cuales actúan como una barrera física contra las plagas, limitando su movimiento, repeliéndolas o eliminándolas. Esta teoría se basa en la capacidad de los insectos herbívoros para reconocer diferentes estructuras, colores y contenidos químicos de las hojas (Root, 1973; Altieri y Letourneau, 1982; Altieri y Gliessman, 1983; Kareiva, 1983; Bergelson y Kareiva, 1987; Power y Kareiva, 1990; Vandermeer y Schultz, 1990). La segunda teoría se basa en la existencia de enemigos naturales en un sistema complejo, en el cual hay mayor probabilidad de existencia de nichos de depredadores y parasitoides que controlan las poblaciones de insectos (Root, 1973; Perrin, 1980). Los enemigos naturales generalistas pueden ser más abundantes, ya que pueden utilizar un mayor número de presas en sistemas complejos. Asimismo, pueden presentarse parasitoides en cantidades significativas debido a una mayor disponibilidad de polen y néctar en sistemas diversos (Risch et al, 1983; Bugg, Andow, citados por Stamps y Linit, 1998). Varios grupos de organismos, altamente diversos en sistemas agroforestales pueden considerarse enemigos naturales de insectos plaga: otros insectos, arañas, pájaros, bacteria, spiroplasmas, protozoarios, ácaros y nematodos (Dix et al., 1995; Debach y Rosen, 1991).

Se ha sugerido que un mosaico complejo de vegetación puede proveer hábitats para organismos antagonistas tales como hongos, bacterias o



protozoarios en sistemas agrícolas (Zaher et al., 1985; Hodges et al., 1993), y estos mismos principios podrían aplicarse a sistemas de café para controlar organismos patógenos tales como la roya del cafeto. Un mosaico heterogéneo también puede actuar como barrera física para dispersión de esporas, principalmente por la reducción de la velocidad del viento, pues se ha demostrado que el viento es el principal factor que afecta el transporte de estas estructuras reproductoras (Mundt y Leonard, 1985; Aylor, 1990; Nagarajan y Singh, 1990).

Las malezas han sido consideradas plantas fuera de lugar, indeseables y que tienen un efecto nocivo en las parcelas de cultivo (Zimdahl, 1993). Sin embargo en este trabajo se denominarán arvenses a las plantas herbáceas espontáneas, ya que, los campesinos de la región no consideran a estas plantas como un problema, sino como plantas útiles, como fue descrito por Hernández (1985). Con respecto a las arvenses, resultados de investigación han mostrado los efectos de la sombra sobre la reducción de la biomasa de estas plantas y sobre el cambio en la composición florística (Jiménez-Avila, 1979; Nestel, 1995; Muschler, 1997; Beer, et al., 1998).

Muchos de los beneficios de los sistemas agroforestales provienen de la diversidad que contienen, la cual es un reflejo de la diversidad cultural de los productores.

### **1.8. Ciclaje de nutrimentos en los sistemas de producción de café**

El agroecosistema de café manejado bajo sombra tiene gran semejanza a la vegetación natural, mantiene ciclos de nutrimentos con pocas pérdidas,

además, la planta de café extrae pocos nutrientes del suelo (Sánchez, 1981). En estudios anteriores se han descrito los cafetales sombreados con una compleja estructura de la vegetación de sombra (Jiménez-Avila 1981; Escamilla et al., 1994; Moguel y Toledo, 1999). A nivel mundial, el agroecosistema de café atraviesa por un proceso de intensificación que consiste en el aclareo de la vegetación natural de sombra para sustituirla por sombra monoespecífica, principalmente de especies leguminosas o para eliminarla permanentemente, dejando la plantación a pleno sol. Es bien sabido que actividades de deforestación traen como consecuencia erosión del suelo y decremento de la fertilidad, la cual puede resultar irreversible (Lal, 1996; Beer et al., 1998). Algunos experimentos de largo plazo indican la importancia de la cobertura vegetal y el uso del suelo sobre la escorrentía y el arrastre de sedimentos (Pereira, 1973; Blackie y Edwards, 1979; Lal, 1984). Una erosión acelerada es también el principal factor responsable del decremento de la fertilidad y la productividad (Lal, 1996). Se ha comprobado que la escorrentía y la pérdida de suelo son menores en cafetales sombreados que en cafetales sin sombra (Bermudez, 1980; Wiersum, 1984; León, 1990).

Los árboles aportan significativas cantidades de hojarasca, las cuales ayudan a prevenir la erosión y a mantener la fertilidad de los suelos. Se ha estimado que los árboles de cafetales sombreados pueden aportar entre 5 mil y 10 mil kg/ha/año de materia seca (Beer, 1988), valores que están dentro del rango estimado para bosques tropicales (Vitousek, 1984). Los ingresos por materia orgánica pueden estar correlacionados con la capacidad de intercambio de cationes y la reducción del riesgo por lixiviación (Nye y Greenland, 1960). Se ha comprobado la importancia de la hojarasca para mantener el reciclaje de N, P, K,

Ca y Mg (Beer, 1988). La producción de hojarasca es de particular importancia, especialmente en suelos pobres con bajo contenido de materia orgánica, donde los árboles de sombra pueden mantener la productividad de sitio, especialmente aquellos que pueden proveer altas cantidades de hojarasca bajo regímenes de poda. Babbar y Zak (1994, 1995) encontraron tasas más altas de mineralización de N en plantaciones de café sombreadas con la leguminosa *Erythrina poeppigiana* en Costa Rica comparadas con plantaciones sin sombra. Romero-Alvarado et al. en Chiapas, México no encontraron diferencias en rendimientos y características del suelo entre plantaciones de café con sombra de *Inga* y sombra diversa. Los aportes de nutrimentos por la hojarasca dependen de las especies, el clima, las características del suelo y el manejo de la plantación, pero en general se puede decir que la descomposición y la dinámica de la materia orgánica del suelo en sistemas agroforestales puede ser manipulada por medio del manejo de la vegetación para producir residuos orgánicos de cierta calidad y regular las condiciones del suelo (Szott et al. 1991).

La asociación agroforestal ofrece ventajas potenciales para el reciclaje de nutrimentos cuando se comparan con los monocultivos; las características de las especies que componen la sombra es de particular importancia (Beer, 1988, 1998; Nygren y Ramírez, 1995; Palm, 1995). Sin embargo, hay pocos estudios sobre la influencia de la estructura de la vegetación y la composición florística de cafetales rústicos sobre las características nutrimentales del sistema de café.

## 1.9. Estado del arte de los estudios en cafetales

La investigación agroecológica en cafetales se ha enfocado a: 1) comparar el efecto de las interacciones entre la sombra de leguminosas y no leguminosas sobre la fertilidad del suelo; 2) analizar las interacciones del microclima y plagas/patógenos; y 3) entender el ciclaje de nutrimentos y el mantenimiento de la fertilidad del suelo (Beer, 1998). Investigadores abocados al estudio de los cafetales han reconocido la necesidad de estudios de competencia por luz, agua y nutrimentos para identificar los factores limitantes para un gradiente de sitios con diferentes condiciones biofísicas. También, se ha reconocido la necesidad de conocer los efectos de la estructura y la dinámica fenológica para diferentes especies y tamaños de árboles sobre la fotosíntesis bajo el dosel para relacionarla con la productividad del sistema. Asimismo, la investigación en nutrimentos se ha centrado en Nitrógeno, pero se conoce poco sobre otros nutrimentos (Beer, et al., 1998).

Entre los estudios que abordan diversos aspectos agroecológicos del cafetal, destacan los que analizan el efecto positivo o negativo de la sombra sobre la producción o sobre el crecimiento de la planta de café (Rayner, 1942; Huerta, 1954; Alvim, 1960). Sin embargo la mayoría de los estudios en cafetales son de corte experimental, con sombra simulada y consideran a la luz como el factor principal. Estudios más recientes abordan la cobertura y la densidad de árboles de sombra (Escalante, 1995; Hernández, et al, 1997; Muschler, 1997). Sin embargo, otros aspectos de la estructura de la vegetación tales como altura de los árboles, área basal, número de estratos de la vegetación, equitabilidad, riqueza de especies y la diversidad han quedado fuera de los estudios.

Existe polémica tanto entre productores de café como entre científicos con respecto a si la sombra de árboles incrementa o reduce plagas y enfermedades (Beer, 1998), principalmente con relación a la broca y la roya que son, en términos económicos, respectivamente, la plaga y la enfermedad más importantes del café. Las interacciones que se han estudiado entre la sombra, plagas y enfermedades han sido en relación con los factores luz, temperatura y humedad. Por su parte, los estudios sobre malezas han dado cuenta de la composición por grupos (malezas de hoja ancha vs. malezas de hoja angosta) y la productividad de biomasa. Pero no hay estudios que relacionen la estructura y diversidad de la vegetación con la incidencia de estos organismos con un enfoque diferente que considere a los árboles de sombra como entidades vivientes más que como elementos que condicionan el microclima.

En el terreno de los nutrientes del suelo resaltan las evaluaciones de diferentes dosis de fertilizantes inorgánicos, los estudios sobre balances de nutrientes, cuantificación de biomasa aérea, tasas de descomposición y productividad de biomasa de raíces (Beer, 1998). Los estudios sobre micorrizas y raíces son escasos (Cuenca et al, 1983; Herrera, et al., 1987). No existen estudios que aborden el efecto de una composición botánica diversa sobre los contenidos de nutrientes en el suelo y su relación con el contenido de nutrientes en las hojas del cafeto.

Los estudios que registran la biodiversidad en cafetales son más recientes, pero dan cuenta principalmente de grupos de animales (Perfecto et al., 1996). Por otro lado, son abundantes los estudios que hacen descripciones generales del sistema de café con perfiles verticales y horizontales de la vegetación de sombra y

con listas de las especies útiles (Jiménez-Avila, 1979; Alfaro y Rojas, 1992; Granados y Vera, 1995; Herzog, 1994; Godínez, 1997). Sin embargo, hay muy pocos estudios que registren la relación entre la vegetación de sombra y la vegetación natural local contenida en los cafetales (Purata y Meave, 1993). Hay pocos estudios que enfoquen el valor de la vegetación de sombra como productores de bienes y servicios, y al mismo tiempo, cuantifiquen los rendimientos de café y estudien las interacciones entre los principales componentes del sistema. Los estudios en cafetales han sido disciplinarios, los agronómicos han estado un tanto separados de los ecológicos.

Hacen falta estudios que resulten en recomendaciones prácticas para los productores, tanto agronómicas como silviculturales, que permitan mantener o incrementar los rendimientos, controlar plagas, enfermedades y malezas al mismo tiempo que se mantiene o incrementa la producción de bienes y servicios aportados por el grano de café y por la vegetación de sombra.

Por otro lado, son necesarios los estudios que contengan una experimentación en finca (Scherr, 1991) con diseños observacionales en donde puedan tenerse tratamientos y controlarse variables tales como la cobertura, la iluminación y la diversidad para conocer sus efectos sobre rendimientos y las interacciones entre los principales componentes, visto el cafetal como un sistema o arreglo de componentes unidos o relacionados de tal manera que forman y actúan como una unidad, una entidad o un todo (Hart, 1985). Estos estudios son necesarios para llevar a cabo investigación estratégica de tipo básico con la finalidad de desarrollar y diseminar prácticas para mejorar los sistemas de producción, partiendo de las necesidades de la población rural. Los estudios en

parcelas de productores permiten acercarse más a la realidad del campo y extrapolar resultados con mayor confiabilidad. Estos estudios se complementan con otros de laboratorio y campo experimental para en conjunto poder ofrecer alternativas para la sociedad rural. Además, estos estudios sirven como demostración a los productores directamente en sus parcelas y como una forma de iniciar la extensión de nuevas tecnologías, lo cual ha sido una de las principales limitantes en universidades y centros de investigación (Chamber, 1983; Weirsum, 1987; Beer, 1991).

## **1.10. Objetivos**

### **1.10.1. Objetivo general**

El objetivo general de esta tesis fue contribuir al conocimiento básico de las interacciones que ocurren entre la vegetación de sombra, la producción de café y la salud del sistema.

### **1.10.2. Objetivos particulares**

- Describir la estructura y diversidad de los cafetales sombreados y los usos que tienen las especies leñosas por los (las) productores (as) de la región.
- Explorar sobre la existencia de una tipología de cafetales por composición florística de especies leñosas componentes de la sombra.

- Estudiar las relaciones entre altitud, exposición, pendiente y producción de café.
- Estudiar las relaciones que se establecen entre cobertura, área basal, altura y número de estratos de la vegetación de sombra, iluminación bajo el dosel, densidad de árboles o arbustos, equitabilidad, riqueza, diversidad de especies y la producción de grano de café.
- Analizar las interacciones que existen entre variables físicas, biológicas y tecnológicas del cafetal y la ocurrencia de plagas (broca, *Hypothenemus hampei*), enfermedades (roya, *Hemileia vastatrix*) y arvenses, contrastando estas interacciones con las teorías ecológicas que relacionan la complejidad del hábitat con enemigos naturales y la concentración del recurso.
- Estudiar las interacciones entre la estructura y diversidad de la vegetación y las siguientes variables del suelo: pH, capacidad de intercambio de cationes, Nitrógeno total, Fósforo extraíble, Potasio, Calcio, Magnesio y materia orgánica; así como las interacciones entre estructura y diversidad de la vegetación, las variables del suelo y el contenido de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg) en las hojas de café, considerando el N foliar como un indicador de la capacidad fotosintética de la planta de café.

### **1.11. Alcances de esta tesis**

Este trabajo es de tipo estratégico y pretende aportar conocimientos básicos sobre las interacciones que ocurren entre los principales componentes del



agroecosistema de café y busca coadyuvar para un futuro diseño de tecnología que permita al mismo tiempo mantener la producción de café y la conservación de los recursos naturales. Tiene como fin contribuir a la construcción de criterios de salud del agroecosistema y a la definición de criterios de café con sombra para la certificación de un café de especialidad.

La investigación se llevó a cabo en parcelas de productores campesinos, es del tipo de investigación que se ha llamado “en fincas” (on-farm research; Scherr, 1991). Se realizó por El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), con la participación de productores de comunidades indígenas y técnicos campesinos de cuyos intereses se delinearon los objetivos.

Se utilizó el concepto de sistema para abordar el agroecosistema de café como un sistema agroforestal, en el sentido de Nair (1989), definido como la combinación de especies leñosas con cultivos. Los principales componentes identificados son: el cultivo de café, los árboles o arbustos de sombra y el suelo. La incidencia de roya, broca, cobertura de malezas, nutrimentos del suelo y nutrimentos absorbidos por las hojas del cafeto fueron considerados como indicadores de la salud del agroecosistema.

Se estudia el efecto que tiene la sombra, vista ésta como el conjunto de componentes vivos que tienen una estructura y una diversidad sobre la producción y la salud del agroecosistema, influyendo no únicamente sobre el factor luz, sino a un conjunto de otros elementos de la estructura y la diversidad de la vegetación tales como: cobertura, área basal, altura y número de estratos de la vegetación de sombra, iluminación bajo el dosel, densidad de árboles o arbustos, equitabilidad, riqueza y diversidad de especies.

Por el hecho de ser ésta una investigación en parcela de productores no tiene el alcance de cubrir todo el rango de variación de los principales atributos de la sombra (coberturas, densidades, áreas basales, etc.). Los rangos estudiados son los que los productores mantienen en sus parcelas como parte del manejo de su sistema.

Asimismo, el hecho de considerar varios componentes al mismo tiempo no permite alcanzar la profundidad que podría tener un estudio de especialidad. Se trata de un estudio amplio pero poco profundo, que comprende el rango de variación de las interacciones más importantes en el agroecosistema. El estudio se llevó a cabo durante tres años, pero algunas variables se midieron durante sólo un año. Sería muy arriesgado hacer extrapolaciones directas a otras regiones con condiciones ambientales, sociales y económicas diferentes a las aquí presentadas.

## Capítulo II

# **Metodología general**

## II. Metodología general

### 2.1. El Area de estudio

La primera parte del estudio se llevó a cabo en cuatro comunidades pertenecientes a dos municipios de la región norte de Chiapas. El Ejido Francisco I. Madero del Mpio. de Jitotol en la zona noroeste y las comunidades Alan K'antajal, Muquenal y Segundo Cololteel, del Mpio. de Chilón , en la zona noreste, del estado de Chiapas, México (Figura 1).

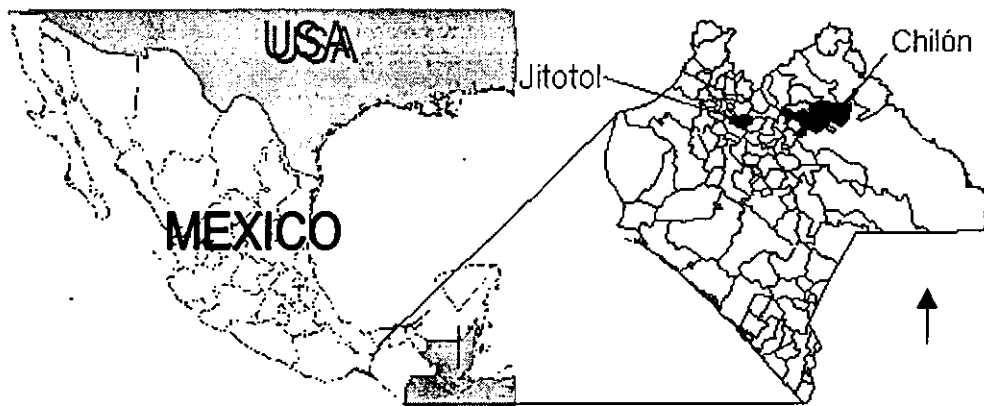


Figura 1. Localización del área de estudio

#### 2.1.1. Jitotol

El Ejido Francisco I. Madero municipio de Jitotol de Zaragoza presenta un clima semicálido húmedo (A)C(m) con lluvias en verano y una temperatura media anual de 22° C, la precipitación media anual es de 1200 a 1500 mm (García,

1988). Se encuentra a una altitud de 1180 a 1270 m s.n.m. El tipo de suelo según la FAO-UNESCO, corresponde a luvisol crómico, caracterizado por ser arcilloso, ácido y susceptible a la erosión (INEGI, 1987), con pendientes entre 25 y 85%. La topografía está constituida por laderas abruptas (INEGI, 1982). La vegetación característica es bosque de pino encino y relictos de bosque mesófilo de montaña (INEGI, 1987). La población pertenece a la etnia Tzotzil, dedicada a la producción de maíz, café y en menor grado al ganado bovino.

### **2.1.2. Chilón**

Las tres comunidades: Alan K'antajal, Segundo Cololteel y Muquenal del Mpio. de Chilón, están comprendidas en la zona subtropical, que presenta un clima semi-cálido húmedo (A)C(m) (García, 1988). Existe un gradiente entre 800 a 1200 m s.n.m, con una precipitación media anual con régimen monzónico, en la parte alta, de 1200 a 1500 mm; y en la parte media y baja de 2000 mm de precipitación (INEGI, 1993). La temperatura media anual es de 22° C. Los suelos son regosoles, algo pedregosos en algunas zonas. Los suelos arenosos (franco-arcillo-arenosos) son conocidos por la población local como jí'ilum y los suelos arcillosos como chavec'lum. En general los suelos tienen una alta cantidad de materia orgánica, un pH promedio de 5.7 y una CIC de 22.3 meq/100 gr.

La vegetación típica en las partes altas es de bosque mesófilo de montaña y en la parte media y baja es de selva mediana subperenifolia.

## 2.2. Materiales y métodos

Esta investigación se llevó a cabo en parcelas de productores campesinos, de cuyos intereses se originaron los objetivos. Se contemplaron tres diferentes etapas metodológicas: la primera es un diagnóstico de los sistemas de producción regional con énfasis en la cafecultura regional; la segunda es una descripción de la estructura y diversidad de la sombra de cafetales tradicionales; la tercera es un análisis de los efectos de la estructura y diversidad de la sombra sobre la producción de café y sobre variables que definen la salud de sistema: la plaga y la enfermedad más importantes del café, que son la broca y la roya, respectivamente, y las malezas, que aquí se llamarán arvenses, pues como podrá verse, los productores no perciben a estas plantas como un problema, sino como un componente más del sistema, que ofrecen productos para las familias campesinas.

En la primera fase de diagnóstico se utilizaron técnicas del diagnóstico y diseño propuestas por el ICRAF (International Centre for Research in Agroforestry; ICRAF, 1983; Beniest, 1994) y con la información obtenida se delinearon los objetivos de la investigación, según las prioridades de los productores y según huecos de conocimiento identificados para el sistema cafetalero. Con el objetivo de tener la información más precisa sobre el funcionamiento del sistema agrícola cafetalero se realizaron 102 entrevistas a productores cafetaleros de Jitotol (52) y Chilón (50), comprendiendo 20% de los productores de las comunidades de estudio. También se realizaron recorridos de campo, talleres participativos y revisión de material documental y bases de datos de la región. Estas técnicas fueron utilizadas con la finalidad de describir el proceso y la variabilidad de los

componentes del sistema productivo de café. Los productores participantes pertenecen a las organizaciones UREAFA (Unión Regional de Ejidos Agropecuarios, Forestales y Agroindustriales de la zona norte) en Jititol y la Unión de Crédito Pajal Yak'actic, en Chilón. Los productores de estas organizaciones desarrollan proyectos más amplios de investigación, dentro de los cuales se insertó esta investigación (Montoya et al., 1995; Soto Pinto et al. en prensa).

En la segunda etapa, se escogieron 61 parcelas de los 102 productores en que se basó el diagnóstico, manteniendo controladas siguientes variables: variedades de café utilizadas, tipo de sombra, nivel tecnológico de la producción y edad del cafetal. En estas parcelas, se marcaron parcelas permanentes de muestreo de 10 x 10m. En ellas se efectuó un inventario ecológico-forestal y florístico para reconocer la estructura y diversidad de la vegetación de sombra (Whittaker, 1975; Mueller y Ellenberg, 1974; Hutchinson, 1988). Se realizó una comparación entre la composición florística de los cafetales y las especies reportadas en los documentos escritos para la región (Miranda, 1953; del Amo et al., 1992).

Se realizó una tipología de cafetales de acuerdo al análisis multivariado de coordenadas principales (Everitt y Dunn, 1991) basado en el índice de similitud de Jaccard (Sneath y Sokal, 1973) mediante el paquete computacional Ntsys (Rohlf, 1997) con el objetivo de reconocer grupos por su composición florística.

La tercera etapa se desarrolló en la zona de Chilón, en 36 de las 61 parcelas permanentes anteriormente descritas y distribuidas aleatoriamente en un gradiente de cobertura de sombra entre 23 y 70%. En estas parcelas se llevaron a cabo mediciones de los atributos de la sombra, estimaciones de los rendimientos,

incidencia de broca (*Hypothenemus hampei*), roya (*Hemileia vastatrix*) y arvenses a lo largo de tres años. Asimismo, se realizaron muestreos de las condiciones (pH) y nutrimentos en el suelo (N, P, K, Ca, Mg, CIC, CE y materia orgánica) y nutrimentos absorbidos por las hojas del cafeto (N, P, K, Ca, Mg) por un año.

Para medir la cobertura se utilizaron fotografías hemisféricas, las cuales fueron digitalizadas por medio de un scanner y el paquete computacional adobe photoshop. Las imágenes fueron leídas por medio del paquete computacional Hemiphot, el cual opera por medio de un modelo que según la posición espacial con respecto al norte, la altitud, el movimiento solar y la imagen que proyecta el dosel, estima el porcentaje de cobertura, la cantidad de luz difusa y directa abajo del dosel y el área foliar (Steege, 1994).

La exposición de las laderas fue medida en grados y transformada a una escala numérica entre cero y uno. El cero fue asignado a las exposiciones sur (laderas secas) y el uno a las exposiciones norte (laderas húmedas). Se usó la siguiente fórmula (Roberts, 1986):

$$e_t = (\cos (e_o - 30^\circ) + 1) / 2$$

donde:

$e_t$  = exposición transformada

$e_o$  = exposición observada

Los rendimientos de café se midieron contando el número total de frutos de cinco plantas de cada parcela permanente de muestreo (Comisión Nacional del Café de Nicaragua, 1992). Para transformar el número de granos a peso de café pergamino se contó el número de granos contenidos en un kilogramo de frutos



en cereza, se despulpó, lavó y secó con una estufa de aire forzado, para ser después pesados en forma de pergamino (café limpio).

Se llevaron a cabo análisis de correlación bivariada, se realizaron regresiones multivariadas para las variables cuyas correlaciones resultaron significativas. También se realizaron pruebas de medias de Duncan para comparar promedios de variables entre varios grupos o pruebas de T para comparar medias de dos grupos (Steel y Torrie, 1985). Estos análisis fueron realizados con SAS (1989). Se llevó a cabo un análisis de componentes principales (Everitt y Dunn, 1991) con el objetivo de delinear una tipología de cafetales por su composición florística, basado en el índice de similitud de Jaccard (Sneath y Sokal, 1973; Müller-Dumbois y Elleberg, 1974) mediante el paquete computacional Ntsys (Rohlf, 1997).

## Capítulo III

# **Woody plant diversity and structure of shade-grown coffee plantations in northern Chiapas, Mexico.**

Lorena Soto- Pinto<sup>1</sup>, Yolanda Romero-Alvarado<sup>2</sup>,  
Javier Caballero-Nieto<sup>3</sup> y  
Gerardo Segura-Warnholtz<sup>4</sup>

En prensa Revista Biología Tropical (Costa Rica)

---

<sup>1</sup> El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR. Apdo. postal 63, San Cristóbal, Chiapas, México.

lsoto@scl.ecosur.mx

<sup>2</sup> Unión Regional de Ejidatarios Agropecuaria, Forestal y de Agroindustrias de los Pueblos Zoques y Tzotiles del Estado de Chiapas. UREAFA. Jitotol, Chiapas.

<sup>3</sup> Jardín Botánico de la UNAM, Apdo. postal 70-614, México, D.F. 04510, México.

<sup>4</sup> Instituto de Ecología de la UNAM, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, México D.F. 041510, México.

### **III. Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee plantations in Northern Chiapas, Mexico<sup>5</sup>**

**Lorena Soto-Pinto<sup>6</sup>**

**Yolanda Romero-Alvarado**

El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Apdo. Postal 63, San Cristóbal Chiapas,  
México, 29290, lsoto@sclc.ecosur.mx

**Javier Caballero-Nieto**

Jardín Botánico, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior,  
Ciudad Universitaria, México, D.F. 04510, jcnieto@servidor.unam.mx

**Gerardo Segura Warnholtz**

Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Av. Progreso No. 5,  
Viveros de Coyoacán, Col. El Carmen, Coyoacán, C.P. 04100, México D.F.  
gsegura@semarnap.gob.mx

---

<sup>5</sup> Artículo Aceptado por la Revista Biología Tropical

<sup>6</sup> Correspondence Author.

### 3.2. Introduction

In the present, the problem of diversity loss concern researchers and development agents who are studying the causes of diversity loss and trying to propose alternative solutions. In tropical countries researchers are carrying out investigation to account for existing diversity, but many of these resources are accelerately being lost, it is estimated that around 150 species go extinct daily (Reid y Miller 1989).

The loss of diversity has occurred mainly due to agricultural, industrial, and urban expansion that has penetrated the agricultural frontier, in addition to other factors such as use of pesticides, introduction of exotic species and forest fragmentation (Pimentel et al. 1992, Brown and Lugo 1994, Lugo 1995).

Some agricultural systems have conditions similar to the natural environment, such as shaded coffee plantations, which maintains soil, climatic and biological conditions similar to surrounding natural forests (Jiménez-Avila and Martínez 1979, Perfecto et al. 1996, Moguel and Toledo 1999, Zúñiga and Calvo unpublished). However, in many countries, coffee growers have used mixtures of species of only one genus for shade. In other cases, they have cultivated only one species, and in the most extreme cases, they have used unshaded coffee. As a result, this simplification process has caused diversity loss and other problems associated with it, such as erosion, pest attacks, diseases and loss of resource availability in the coffee stand (especially for subsistence producers) (Jiménez-Avila and Martínez 1979, Moguel and Toledo 1999).

Recent studies have shown the significance of managed forests for biodiversity conservation (Hansen et al. 1991) and diverse shade-grown coffee

plantations can be considered as managed forests. It has been reported that shade-grown coffee is very important as refuge for birds (Aguilar-Ortiz 1982, Greenberg et al. 1997, 1997a), mammals (Estrada et al. 1993, Gallina et al. 1996), reptiles (Seib, cited by Perfecto et al. 1996), insects (Torres 1984, Perfecto et al. 1997), arachnids (Ibarra-Núñez 1990), woody plants (Purata and Meave 1993) and orchids (Nir 1988). Additionally, shade-grown coffee plantations can be considered as corridors for fauna and flora, since they are part of the scarcely vegetated areas within fragmented zones (Moguel and Toledo 1999). However, there are still few studies describing structural characteristics and woody plant species diversity of coffee stands that make possible to define criteria for shade-grown coffee plantations (Escamilla et al. 1994, Moguel and Toledo 1999, Soto-Pinto et al. 2000). Such studies have acquired importance because of their importance in biodiversity conservation and due to the recent developing biodiversity friendly coffee markets in the United States and Europe. This market gives to producers the opportunity to increase their incomes by selling "ecological friendly coffee"; additionally, it benefits consumers who prefer specialty coffee, and helps to maintain environmental health.

The purpose of this study was to describe and analyze coffee stand structure and woody plant diversity in shade-grown coffee systems in Northern Chiapas, Mexico.

### **3.3. Materials and methods**

### 3.3.1. Study area and selection of sampling sites

This study was carried out in two areas of Northern Chiapas. One in the municipality of Chilon and the other in the municipality of Jitotol. Both zones are located in the coffee belt of Northern Chiapas, Mexico, within the subtropical zone characterized by a warm and humid climate (A)C(m) (García 1988). The area presents an altitude gradient from 800 to 1200 m above sea level, having an annual rainfall of 1200 to 1500 mm in the higher altitudes; and 2000 mm at the lower altitudes. Average annual temperature is 22° C. Soils are of recent formation, calcareous, thin, and stony. Typical vegetation in the highest areas is the montane rain forest (bosque mesófilo de montaña ) whereas in the middle and the lowest zones vegetation is semi-evergreen seasonal forest (bosque tropical subperennifolio) (Rzedoswki 1978, Breedlove 1981).

Human population of the Jitotol area belongs to the the Tzotzil ethnic group and, in Chilon to the Tzeltal group. Both ethnic groups are Mayan descendants whose main activity is agricultural production of corn, beans, squash and coffee along with some cattle raising.

A characterization of main environmental and technical conditions in which coffee is grown was carried out. A questionnaire was given to 102 producers from Chilon and Jitotol to identify the main coffee variants cultivated in regional coffee systems. A total of 61 sampling sites were chosen, coffee plant age, variety, and type of shade and management (organic vs. chemical) were maintained as constants. In each of the 61 plots a permanent sampling area of 10m x 10m was selected, where measurements of the studied variables were conducted. The square size was defined in order to relate community structure and canopy cover

(Anderson 1966) and based on the assumption that resulting image from hemispherical photographs gives an almost 180 degree view in all directions, with the zenith at the center and the horizon at the edges of the photograph (Roxburgh and Kelly 1995).

### **3.3.2. Measurements of coffee stand structure and diversity**

Coffee density, slope and plot aspect were measured. In each plot a forest inventory with the following variables was carried out: number of individuals of each shade species, separated into nine diametric classes (1-10cm, 10.1-20cm, 20.1-30cm, 30.1-40cm, 40.1-50cm, 50.1-60cm, 60.1-70cm, 70.1-80 cm, and > 80 cm in breast height diameter (breast height being 1.3m); life forms (tree, shrub, palm and tall herbs). The number of strata in coffee stand as well as height, use of the species and qualitative presence of woody plant seedlings were recorded. With the above-mentioned information the following variables were estimated: density, frequency, abundance, species richness, diversity index and importance value according to Mueller-Dumbois and Ellenberg (1974) and (Whittaker 1975). All trees and shrubs in the plots were mapped in order to define number of strata. Light density class, crown form, and number of dead trees were also recorded according to Hutchinson (1988). Illumination classes were determined according with the position of tree crown with respect to the canopy as follows: 1) emergent, 2) full overhead light, 3) some overhead light, 4) mainly oblique light, and 5) indirect light. Crown form classes included: 1) complete circle, 2) irregular circle, 3) half circle, 4) less than half circle, 5) few branches, 6) mainly sprouts, 7) alive

without crown. Voucher specimens were collected for identification and deposited in the ECOSUR's herbarium (El Colegio de la Frontera Sur) and at the National Herbarium of Universidad Nacional Autónoma de México (MEXU).

Hemispherical photos were taken in each plot (for methodology see Soto-Pinto, 2000). The computer program Hemiphot (Steege 1996) was used to calculate canopy cover and photon flux density below the canopy.

A Principal Coordinates Analysis (Everitt and Dunn 1991)-based on the Jaccard's Similarity Index (Sneath and Sokal 1973) was carried out in order to identify groups of plots by floristic composition through the computational program NTSYS (Rohlf 1997). Unidentified species were not included in the analysis. For each group, plot equitability was estimated through the following formula:

$$E = BA/R$$

Where:

E= plot equitability

BA= average basal area

R= species richness in 100m<sup>2</sup>

### **3.4. Results**

Coffee producers are indigenous people, which possess in general less than 5 hectares in total; about one fifth of this land is devoted to coffee production. Shade-grown coffee is managed as a low-input system. In Jitotol there are organically-grown coffee, chemical-grown-coffee and natural-grown coffee (no inputs), while in Chilon the natural-coffee prevails. Producers do not control any



pest or disease besides the berry borer, what is controlled by cultural methods.

Weeds are handling removed twice a year. Cultural practices, except for harvesting are based upon family labor.

Coffee stands present a mixture of varieties Bourbon, Caturra, Mundonovo and Typica in an average density of 1500 shrubs per hectare. Shade trees are densely non-uniformly distributed in the plots, since producers tolerate seedlings growing naturally in the coffee plantation.

Shade vegetation structure in coffee stands showed a complex vertical profile. There were five strata of shade vegetation: one herbaceous stratum, two shrubby strata and two tree strata. The average profile showed 26.4% of emergent trees in the canopy; 21.5% of individuals with full overhead light, 18.9% of individuals with some overhead or oblique light; and 34.2% with trees or shrubs with indirect light (coffee shrubs not included). Different species were represented in each stratum. The species: *Inga pavoniana*, *I. punctata*, *Belotia mexicana*, *Heliocarpus appendiculatus* and *I. sapindioides* were mainly emergent trees with full overhead light, whereas *Heliocarpus appendiculatus*, *Citrus sinensis*, *Musa sapientum* and *Croton draco* mainly had some overhead or oblique light. Additionally, the species *Oecopetalum mexicanum*, *Piper auritum*, *Astrocharium mexicanum*, *Chamaedorea cataractarum*, *Musa sapientum* and *Neurolaena lobata* represented the stratum receiving indirect light. Frequencies of species per illumination classes are shown in Table 1. Canopy cover ranged between 23 and 80%.

The average tree density was 371.4 trees ha<sup>-1</sup>, varying between 100 and 800 trees ha<sup>-1</sup>. Of all shade trees or shrubs, 76% was woody trees. Average

species richness was 3.2 species per 100 m<sup>2</sup>, varying between one and eight species per 100 m<sup>2</sup>.

Tree height varies between 1 and 29 m, diameters vary between 1 and 109 cm. Most of shade components were within the range of 1-20cm diameter. Diametric distribution resembles that of the secondary forest. *Inga* contributes significantly to diameters between 30 and 80 cm (Fig. 1).

Tree crown forms were as follows: 49% were a complete circle; 14% an irregular circle; 21% a half circle; and the remaining 16% showed less than a half circle, few branches or mainly sprouts. No alive trees or shrubs without-crown were recorded.

A total of 77 woody species were recorded in the sampling plots (Table 2). Out of the total number of species, 90% were native ones, the remaining were introduced species, mainly fruit trees. Most of the shade species of coffee stands are part of the tropical forests. A smaller part belongs to montane forests.

Of the total of shade species, 61.5% are trees, 29.5% shrubs, 6.4% palms, and 2.6% tall herbs. A total of 33 families and 56 genera were identified. The most numerous families are Fabaceae (legumes), followed by the Tiliaceae, Asteraceae, Arecaceae, Euphorbiaceae and Rutaceae. Most of the species of these families (55%) had low frequency, occurred only in one plot; other group of species (35.9%) had a higher frequency (10% of the total number of plots); and a smaller group (7.7%) had the highest frequency (10-12% of the total number of the plots) (Fig. 2). The most frequent-species were: *Inga pavoniana*, *Inga punctata*, *Heliocarpus appendiculatus*, *Neurolaena lobata*, *Belotia mexicana*, *Inga sapindioides*, and *Croton draco*. Although coffee shade is diverse in woody species, 38% of the plots

presented high importance values for any of the *Inga* species. The rest of the plots were dominated by other 26 species.

Seedlings of woody species growing from the natural vegetation were recorded growing in most of the plots (83.3%). These seedlings are tolerated by coffee growers due to their function as useful or protection (shade) plants.

Seedlings of 34 useful species were recognised. Most salients were *Nectandra globosa*, *Chrysophyllum mexicanum*, *Chamaedorea cataractarum*, and *Inga pavoniana* (Table 2).

Most (90%) of the species present in the coffee stands are utilized by people. In total, 123 products or services were recorded, most of them are utilized as firewood (27.6%), food (23.6%) construction materials (9.8%). A total of 29 edible products were recognized: fruits, stems and edible flowers, with fruits the most frequent. Other plants are recognized as good shade for coffee (16%), source for poles used for living fences (5%), prime material for handicrafts and labor instruments (3.3%), medicines (3.3%), fibers (1%), gums (1%), fodder (1%) and other domestic uses (8.4%). Other organisms observed in the coffee stands are mushrooms, and plant species of the families Orchidaceae, Bromeliaceae, Cicadaceae and Araceae. Out of the total individuals, 3% were dead trees or shrubs.

Average yield in sampling plots is 835 g of clean coffee per bush or approximately 1668 kg per ha<sup>-1</sup>.

The Principal Coordinate Analyses shows four groups of plots: the first group includes plots (57.6% of the total of plots) with diverse composition of species; the second group comprises plots (24.5% of the total of the plots) with

diverse species and *Inga pavoniana*; the third group contain plots (9.8% of the total the plots) with *Inga punctata* and other diverse species; and finally, the last group comprises plots (8.1% of the plots) including *Inga punctata*, *Inga pavoniana* and other diverse species (Fig. 3). Equitability and yields were not significantly different among groups ( $p < 0.05$ ).

### 3.5. Discussion

Most of the coffee shade species are native plant species and constitute 40% of the woody species reported for the coffee belt in northern Chiapas (Miranda 1953, Breedlove 1986, Del Amo et al. 1992). This highlights the salient role of shade-grown coffee system in the conservation of woody flora, as has been pointed out by Purata and Meave (1993). Shade-grown coffee systems play an important role in conservation, specially of species with narrow distribution, as is the case of species restricted to montane or tropical forests as the majority of the species recorded in this study. Even when the results showed four groups of coffee stands in relation to their woody species composition, there was no difference in equitability among groups. Each coffee stand is practically unique in plant composition, except for the presence of *Inga* species, whose dominance was corroborated in 38% of plots. However, the majority of plots were diverse.

The dominance of *Inga* species could be due to the intervention of INMECAFE (Instituto Mexicano del Café), a government institution with wide impact on coffee activities in Mexico. This institute promoted a technological package that included the use of improved coffee varieties, the use of inorganic

fertilizers, pesticides and the use of species of *Inga* as shade trees. Currently, producers of several zones in Mexico still maintain the idea that *Inga* is the best choice for shade, and although the INMECAFE's dissemination programs have finished, producers continue changing the diversified shade stands by shade dominated by one or two species of *Inga*. Producers tolerate seedlings of *Inga* species, one of the most notable species in secondary regeneration, and even, in some places they grow seeds for sowing. The fact that plots were grouped in four classes, depending on the presence of *Inga*, responds to this technological innovation occurred in the last three decades. However, Romero-Alvarado (Com. Pers. 2000) and Peeters (Com. Pers 2000) could not find significant differences in yields comparing *Inga*-dominated plantations versus rustic plantations. This mosaic diversity acquires importance for conservation of associated flora and fauna (Aguilar-Ortiz 1982, Torres 1984, Brash 1987, Nir 1988, Pimentel et al. 1992, Purata and Meave 1993, Perfecto and Vandermeer 1994, Perfecto and Snelling 1995, Greenberg et al. 1997, 1997a, and others summarized by Perfecto et al. (1996). The heterogeneity of vegetation can play an important role in habitat selection for associated fauna, e.g. bird species (Greenberg et al. 1997). This heterogeneity is maintained by the following factors: the different crown forms, mainly complete and irregular circles, the presence of several vegetation strata, an irregular (non-systematic) disposition of shade trees, a high number of different taxa, the presence of dead trees, epiphytes, mushrooms and herbs. This species mosaic probably contributes to biological diversity. Unfortunately, the unavailability of studies in natural forest in this life zone do not permit to compare ecological and structural features between these and coffee plantations.

Although we did not quantify secondary regeneration, the presence of seedlings of many of the woody species reported was recorded in the plots. Consequently, since growing of diverse woody native species is promoted through the tolerance of seedlings, the role of producer in bio-diversity conservation is significant.

The majority of species have some useful value. The most notables are those that offer products that can not be substituted and are of primary necessity such as firewood, food and materials for construction. Other uses are less generalized, such as the use of *Heliocarpus donnell-smithii* (bark inhabits the larvae of an edible butterfly), *Belotia mexicana* (bark is used to make rope) and *Calathea macroclamys* (leaves used to wrap "tamales", a traditional Mexican dish made of corn and wrapped in natural leaves). In this sense, it is very important to note the important role of producer's knowledge in adding ecological and socioeconomic benefits to local and global scopes.

Although producers maintain a high tree density in their plots which provides the aforementioned products or services, this density does not avoid the maintenance of coffee yields. According to Soto et al. (2000), coffee yield behaves in a quadratic form in relation to the percentage of shade cover, with the highest yields nearer to 50% cover, with an average of 463 shade trees. In addition, Romero-Alvarado (Com. Pers., 2000) also reported that shade tree density had no effect on crop yields.

These results lead us to think that coffee growers working on shade-grown coffee plantations have the opportunity to have a place in the bio-diversity friendly coffee production and in the specialty coffee market without a reduction in yields.

Some estimations suggest that shade-grown coffee represents roughly 1-2% of the specialty coffee market, with total sales estimated in \$60 million US DLLs. per year (Commision for the Environmental Cooperation Web Page, 2000.

<http://www.cec.org>). At the same time, shade-grown coffee can contribute to the preservation of natural resources and wildlife habitats in Mexico.

### 3.6. Resumen

El café bajo sombra es un sistema agrícola que contiene algunas características típicas de los bosques. Sin embargo, las características estructurales y de diversidad de la sombra del café son poco conocidas. Este estudio se llevó a cabo en Chiapas, México, con el objetivo de caracterizar la estructura y diversidad de especies leñosas en plantaciones de café con sombra. Se midieron variables estructurales de la vegetación de sombra y los rendimientos de café y se identificaron las especies y sus usos en 61 parcelas de productores. Los cafetales presentaron cinco estratos de vegetación. Se encontraron 77 especies leñosas con una densidad promedio de 371.4 árboles por hectárea, la mayoría de uso maderable. Noventa por ciento fueron especies nativas, representantes del 40% de la flora regional, el porcentaje restante fueron especies introducidas, principalmente árboles o arbustos frutales. La distribución diamétrica se asemeja a la distribución típica de bosques secundarios. El Análisis de Coordenadas Principales distinguió cuatro grupos de parcelas por la presencia de *Inga*, sin embargo las parcelas son diversas. No hubieron diferencias en equitabilidad entre grupos y tampoco en rendimientos de café. Los rendimientos fueron de 835 gr de café pergamino por arbusto o aproximadamente 1668 kg por hectárea. Se discute

el importante papel del café de sombra como refugio de plantas leñosas y como hábitats para fauna asociada así como la oportunidad de los productores de participar en el nuevo mercado de café amable con la biodiversidad.

### **3.7. Acknowledgments**

We thank coffee growers from the following localities: Alan K'antajal, Segundo Cololteel and Muquenal from Chilón Municipality, as well as Francisco I. Madero, from the Jitotol Municipality for their interest and participation in this study. We thank Manuel Martínez Gómez for field support, and Mario Ishiki and Juan Castillo Hernández for species identification. Field work was supported by Sistema de Investigación Benito Juárez (SIBEJ 98-01-021), Consejo Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-MacArthur Foundation (CONABIO M018) ) and El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Kristen Nelson (University of Minnesota) and three anonymous reviewers provided valuable comments on a draft of this manuscript.

### **3.8. Literature cited**

- Aguilar-Ortiz, F. 1982. Estudio ecológico de las aves del cafetal, p. 103-128. *In*: Jiménez-Avila, E. & A. Gómez-Pompa (Eds.). Estudios ecológicos en el sistema cafetalero. CECSA. México.
- Anderson, M., C. 1966. Some problems of the simple characterization of the light climate in plant communities, p. 77-90. *In*: Evans, G.C. (Ed.). Light as an



ecological factor. British Ecological Society Symposium, Blackwell Scientific Publications, Oxford, U.K.

Brash, A., R. 1987. The history of avian extinctions and forest conversion on Puerto Rico. *Biological Conservation* 39:97-111.

Breedlove, D., E. 1981. Flora of Chiapas, Part I: Introduction of the flora of Chiapas. The California Academy of Sciences, San Francisco, California. 35 p.

Breedlove, D., E. 1986. Listados florísticos de México. IV. Flora de Chiapas. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. México, D.F. 246 p.

Brown, S. & A.E. Lugo. 1994. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. *Restoration Ecology* 2:97-111.

Del Amo, S., A. Cárdenas, V., & A.L. Anaya. 1992. Manual de actividades de conservación y recuperación de especies para los comités municipales, Chiapas. Gobierno del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. 174 p.

Escamilla, P.E., A. L. Licona, V., S. Díaz, C., H.V. Santoyo, C., R. Sosa y L.

Rodríguez, R. 1994. Los sistemas de producción de 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., R. Coates-Estrada & D. Merrit Jr. 1993. Bat species richness and abundance in tropical rain forest fragments and in agricultural habitats at Los Tuxtlas, México. *Ecography* 16: 309-318.

Everitt, B., S. & G. Dunn. 1991. Applied multivariate data analysis. Edward Arnold.

New York. 304 p.

- Gallina, S., S. Mandujano & A. González-Romero. 1996. Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of Central Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems* 33: 13-27.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México, 217p.
- Greenberg, R., P. Bichier, A.C. Angon & R. Reitsma. 1997. Bird populations in shade and sun coffee plantations in central Guatemala. *Conservation Biology* 11 (2): 448-459.
- Greenberg, R., P. Bichier & J. Sterling. 1997a. Bird populations in rustic and planted shade coffee plantations of Eastern Chiapas, México. *Biotropica* 29(4): 501-514.
- Hansen, A. J., T.A. Spies, F. J. Swanson, & J. L. Ohmann. 1991. Conserving biodiversity in managed forests. *BioScience* 41(6): 382-392.
- Hutchinson, I., D., 1988. Points of departure for silviculture in humid tropical forests. *Commonwealth Forestry Review* 67 (3): 223-230.
- Ibarra-Núñez, G. 1990. Los artrópodos asociados a cafetos en un cafetal mixto del Soconusco, Chiapas, México. Variedad y abundancia. *Folia Entomológica Mexicana* 79:207-231.
- Jiménez-Avila, E., & V.P. Martínez. 1979. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero. II. Producción de materia orgánica en diferentes tipos de estructura. *Biótica* 4: 109-126.
- Lugo, A. 1995. Management of tropical biodiversity. *Ecological Applications* 5(4):956-961.

- Miranda, F. 1953. La vegetación de Chiapas. Ediciones del Gobierno del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Mexico. 425p.
- Moguel, P. & V. M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13(1):1-11.
- Mueller-Dombois D. & H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley. New York. 499 p.
- Nir, M., A. 1988. The survivors: orchids on a Puerto Rican coffee finca. *American Orchid Society Bulletin* 57: 989-995.
- Perfecto, I. & R. Snelling. 1995. Biodiversity and the transformation of a tropical agroecosystem: ants in coffee plantations. *Ecological Applications* 5(4):1084-1097.
- Perfecto I., J. Vandermeer, P. Hanson, & V. Cartin. 1997. Arthropod biodiversity loss and the transformation of a tropical agro-ecosystem. *Biodiversity and Conservation* 6:935-945.
- Perfecto, I., & J. Vandermeer. 1994. Understanding biodiversity loss in agroecosystems: reduction of ant diversity resulting from transformation of the coffee ecosystem in Costa Rica. *Entomol. (Trends in Agril. Sci.)* 2:7-13.
- Perfecto, I., R., Rice, R., Greenberg & M. E. Van der Voort. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46 (8): 598-608.
- Pimentel, D., U. Stachow, D. A. Takacs, H. W. Brubaker, A. R. Dumas, J. J. Meaney, J. A. S. O'Neil, D. E. Onsi & D. B. Corzilius. 1992. Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems. *BioScience* 42 (5): 354-362.
- Purata, S. & J. Meave. 1993. Agroecosystems as an alternative for biodiversity

- conservation of forest remnants in fragmented landscapes. p. 9. *In*: Symposium Abstracts Forest Remnants in the Tropical Landscapes: Benefits and Policy Implications. Smithsonian Migratory Bird Center, Washington DC.
- Reid, W. V. & K. R. Miller. 1989. Keeping options alive: the scientific basis for conserving biodiversity. World Resources Institute, Washington D.C.
- Rohlf, F. J. 1997. NTSYSpc Version 2.00 Exeter Software. Stauket. New York. 31 p.
- Roxburgh, J. R. & D. Kelly. 1995. Uses and limitations of hemispherical photography for estimating forest light environments. *New Zealand Journal of Ecology* 19 (2): 213-217.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México, D.F. 432 p.
- Sneath, P. H. A. & R. R. Sokal. 1973. Numerical Taxonomy. Freeman. San Francisco. 573 p.
- Soto-Pinto, L., I. Perfecto, J. Castillo, H., & J. Caballero-Nieto. 2000. Shade effect on coffee production at the northern tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 80 (2000):61-69.
- Steege, H., 1996. Hemiphot, Steege-Tropenbos. University of Wageningen. Netherlands. 43 p.
- Torres, J.A. 1984. Diversity and distribution of ant communities in Puerto Rico. *Biotropica*, 16: 296-303.
- Whittaker, R. H. 1975. Communities and ecosystems, MacMillan, New York. 385 p.



Table 1. Frequency of species by illumination classes for 61 producers' plot studied in Chilón and Jitotol, Chiapas, México.

Species	Illumination Classes (%)				
	Emergent trees	Full overhead light	Some overhead light	Mainly oblique light	Indirect light
<i>Inga pavoniana</i>	24.7	27.9	10.0	2.9	0
<i>Inga punctata</i>	9.9	13.2	3.3	2.9	1.5
<i>Belotia mexicana</i>	9.9	10.3	3.3	0	2.9
<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	6.2	2.9	11.7	8.8	1.5
<i>Inga sapindioides</i>	6.2	2.9	3.3	2.9	1.5
<i>Citrus sinensis</i>	0	0	8.3	2.9	4.4
Other species	43.1	57.2	60.1	79.6	88.2

Fig. 1. Diametric distributions of shade trees and shrubs in rustic coffee plantations, Northern Chiapas, Mexico.

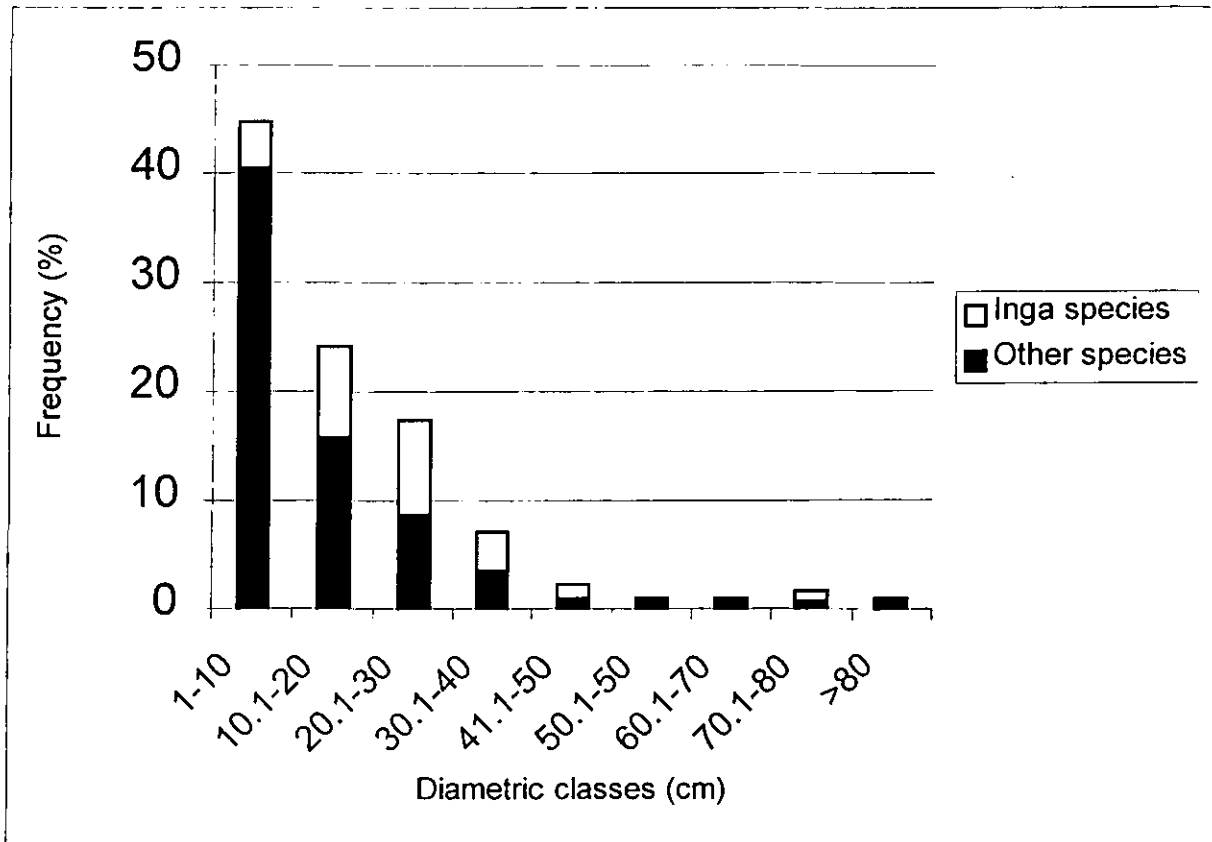


Fig. 2. Species frequency presented in shade-grown coffee plantations in northern Chiapas, Mexico.

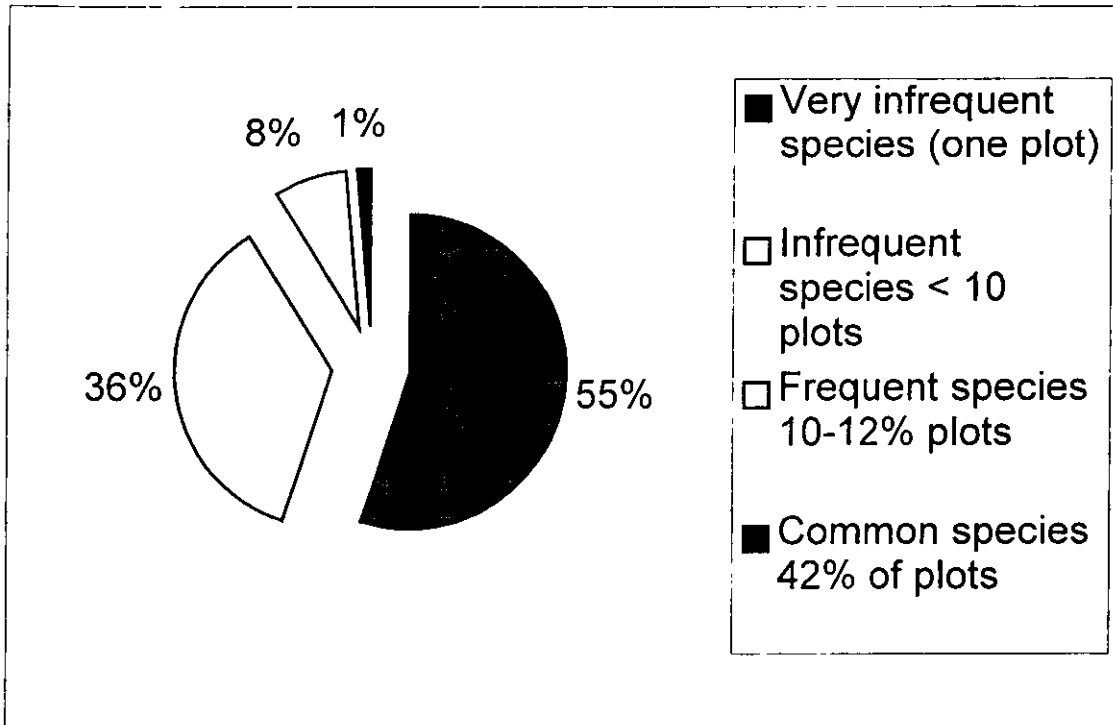




Fig. 3. Plot space projection of the first and second principal coordinates resulting from the Principal Coordinate Analyses based on a Jaccard index similarity matrix.

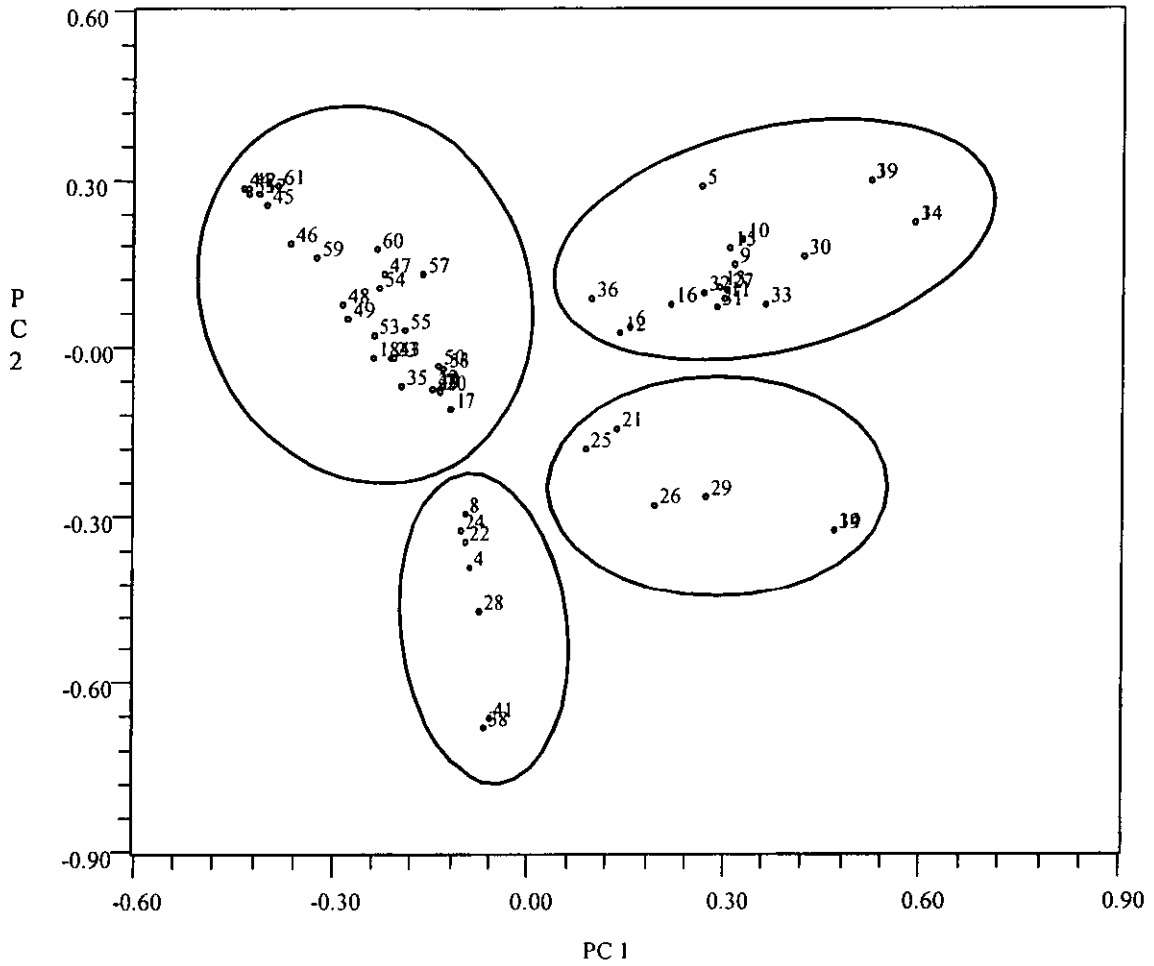


Table 2. *Shade species, families, life forms, origin, vegetation type and relative frequency in 61 plots of shade-grown-coffee plantations in Northern Chiapas, Mexico.*

Family	Species	Local Name	Life Form	Origin	Vegetation type	Relative frequency (%)
Anacardiaceae	<u>Mangifera indica</u> L.	Mango	T	I	---	1.6
Araliaceae	<u>Dendropanax arboreus</u> (L.) Dacne & Planchon	Ya can chamel	S	N	TF	1.6
Arecaceae	<u>Astrocharium mexicanum</u> Liebm.*	Chapay	P	N	TF	3.2
	<u>Chamaedorea cataractarum</u> Liebm.*	Chi'b	P	N	TF	4.8
	<u>Chamaedorea tepejilote</u> Liebm.*	Joma	P	N	TF	3.2
	<u>Desmoncus schippii</u> Burr.*	Baas	P	N	TF	1.6
Asteraceae	<u>Clibadium arboreum</u> Donn. Sm.	Jaal'te	T	N	TF	1.6
	<u>Eupatorium chiapensis</u> Rob.	Yash'ajal'te	S	N	TF	3.2
	<u>Montanoa sp.</u> *	Malacate	T	N	CF	1.6
	<u>Neurolaena lobata</u> (L.) R. Br.	Pom'te	S	N	BT	12.9
	<u>Tithonia rotundifolia</u> (Miller) Blake*	Sun	S	N	TF	1.6
	<u>Vernonia deppeana</u> Less.*	Sitit	S	N	TF	1.6
	<u>Vernonia patens</u> H.B.K.*	Sitit	S	N	TF	1.6
Bignoniaceae	<u>Amphitecna macrophylla</u> (Seem.) Miers.	Mistel	T	N	TF	1.6
Burseraceae	<u>Bursera simaruba</u> (L.) S.	Chacaj	T	N	TF	3.2

Table 2... Continued

Family	Species	Local Name	Life Form	Origin	Vegetation type	Relative frequency (%)
Caricaceae	<u>Carica pennata</u> Heilb.	Papaya	T	N	TF	1.6
Elaeocarpaceae	<u>Muntingia calabura</u> *	Capulin	T	N	CF	3.2
Euphorbiaceae	<u>Bernardia</u> aff. <u>interrupta</u> (Schel.) Muell-Arg.	Sac juluchay	T	N	TF	3.2
	<u>Croton billbergianus</u> Mull Arg.	Tumin'te	T	N	TF	1.6
	<u>Croton draco</u> Schlecht.*	Chi'ch bat	T	N	TF	11.3
	<u>Sapium</u> sp.	Juun	S	N	TF	1.6
Fabaceae	<u>Calliandra</u> sp.*	Shashim	S	N	CF	1.6
	<u>Erythrina</u> sp.*	Mot'e	T	N	TF	3.2
	<u>Inga pavoniana</u> Donn.*	Coquil'te	T	N	TF	41.9
	<u>Inga punctata</u> Willd.*	Tzelei	T	N	TF	24.2
	<u>Inga sapindioides</u> Willd.	Cok	T	N	CF	12.9
	<u>Lonchocarpus</u> sp.*	Shin'te	S	N	TF	4.8
	<u>Senna multijuga</u> (L. C. Rich.) I. & B. var <u>doylei</u>	Xaxib'te	T	N	TF	1.6
	<u>Senna papilosa</u> (B. & R.) I. & B.*	Cantelal tzi	T	N	TF	1.6
Fagaceae	<u>Quercus</u> sp.	Tziz'te	T	N	CF	1.6
Hamamelidaceae	<u>Liquidambar styraciflua</u> L.	Tzost'e	T	N	TF	1.6

Table 2...Continued

Family	Species	Local Name	Life Form	Origin	Vegetation type	Relative frequency (%)
Icacinaceae	<u>Oecopetalum mexicanum</u> Gr. & Th.	Cacaté	T	N	TF	3.2
Lauraceae	<u>Nectandra globosa</u> (Aublet) Mez.*	On'te	T	N	TF	1.6
	<u>Persea schiedeana</u> Nees*	Chinino	T	N	TF	3.2
Marantaceae	<u>Calathea macrochlamys</u> Woodson & Standl.*	Pimil	H	N	TF	6.5
Melastomataceae	<u>Conostegia xalapensis</u> (Bonpl.) D. Don	Pem chitom	S	N	CF	1.6
	<u>Miconia</u> aff. <u>ibaguensis</u> (Bonpl.) Triana*	Chac'taj'mut	T	N	TF	1.6
Meliaceae	<u>Cedrela mexicana</u> Roe	Cedro	T	N	TF	3.2
Moraceae	<u>Castilla elastica</u> Cerv.	Hule	T	N	TF	3.2
	<u>Cecropia obtusifolia</u> Bert*	Guarón	T	N	BT	3.2
Musaceae	<u>Musa sapientum</u> L.	Plátano roatan	T	I	---	9.7
Myricaceae	<u>Myrica cerifera</u> L.	Atsam'te	T	N	BT	1.6
Myrsinaceae	<u>Myrsine myricoides</u> (Schlecht.) Lundell	Atsam'te	T	N	BT	3.2
Myrtaceae	<u>Casearia corymbosa</u> Kunth	Tanchit	T	N	TF	1.6
	<u>Syngium jambos</u> L.*	Pomarrosa	T	I	---	6.5
	<u>Psidium guajava</u> L.*	Guayaba	T	N	TF	4.8
Piperaceae	<u>Piper auritum</u> Kunth*	Momun	H	N	TF	1.6

Table 2...Continued

Family	Species	Local Name	Life Form	Origin	Vegetation type	Relative frequency (%)
	<u>Piper patulum</u> Bertol.	Momun chitom	S	N	CF	1.6
Rhamnaceae	<u>Rhamnus capraefolia</u> Schlecht.	K'anol'te	T	N	TF	1.6
Rubiaceae	<u>Blepharidium mexicanum</u> Standl.	Xacaxte	S	N	TF	1.6
Rutaceae	<u>Citrus aurantifolia</u> Osb.	Limón	S	I	---	1.6
	<u>Citrus reticulata</u> Lour.	Mandarina	S	I	---	1.6
	<u>Citrus sinensis</u> Osb.	Naranja	S	I	---	8.1
	<u>Zanthoxylum</u> aff. <u>microcarpum</u> Griseb*	Pajul'te	T	N	TF	3.2
	<u>Zanthoxylum</u> aff. <u>kellermanii</u> P. Wilson*	Ichil'te	T	N	BT	1.6
Sapindaceae	<u>Cupania dentata</u> D.C.	Toj'pos'te	T	N	TF	1.6
Sapotaceae	<u>Pouteria zapota</u> Merr.	Zapote	T	N	TF	1.6
	<u>Chrysophyllum caimito</u> L.	Caimito	P	N	CF	1.6
	<u>Chrysophyllum mexicanum</u> (Brand) Standl.*	Chii't	T	N	BT	9.7
Solanaceae	<u>Solanum aphyodendron</u> Knapp*	Ashin'te	S	N	TF	1.6
Sterculiaceae	<u>Theobroma cacao</u> L.	Cacao	S	N	TF	4.8
Tiliaceae	<u>Belotia mexicana</u> Shum.*	Ik'bat	T	N	TF	12.9
	<u>Heliocarpus appendiculatus</u> Turcz.*	Saquil Bat	T	N	BT	16.1

Table 2...Continued

Family	Species	Local Name	Life Form	Origin	Vegetation type	Relative frequency (%)
	<u>Heliocarpus donnell-smithii</u> Rose*	Jono 'ha	T	N	TF	3.2
	<u>Heliocarpus mexicanus</u> (Turcz) Sprague*	Sajal Bat	T	N	TF	1.6
	<u>Heliocarpus reticulatus</u> Nash*	Xoch'bat	T	N	TF	1.6
Urticaceae	<u>Myriocarpa longipes</u> Liebm.	Bac'te	T	N	CF	3.2
Verbenaceae	<u>Lippia myriocephala</u> Schlech. & Cham.*	Sac Mumus	T	N	TF	1.6
Violaceae	<u>Orthion subsessile</u> (Standl.) Steyerm. & Stadl.	Weel	T	N	TF	1.6
Non identified	Non identified	Jitit'ul	T	-	TF	1.6
	Non identified	Netam'te	T	-	CF	4.8
	Non identified	Pisisnich	S	-	CF	1.6
	Non identified	Suchalanal	S	-	CF	3.2
	Non identified	Tzajal tzit	S	-	CF	1.6
	Non identified	Tzerey	T	-	CF	4.8
	Non identified	Ujchum	S	-	TF	1.6
	Non identified	Yax'te	S	-	CF	1.6
	Non identified	Zon	S	-	CF	1.6

\* Seedlings of these species were presented in the plots

Origin key: N= native, I= introduced; vegetation type: TF=tropical forest, CF=cloud forest, BT=both types; life form: H=herb, S=shrub, T=tree

## Capítulo IV

# **Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico**

Lorena Soto-Pinto<sup>1</sup>, Ivette Perfecto<sup>2</sup>, Juan Castillo-Hernández<sup>1</sup> y Javier Caballero-Nieto<sup>3</sup>

Publicado en *Agriculture, Ecosystems and Environment* 80(1-2):61-69

---

<sup>1</sup> El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR. Apdo. postal 63, San Cristóbal, Chiapas, México.  
[lsoto@scle.ecosur.mx](mailto:lsoto@scle.ecosur.mx).

<sup>2</sup> School of Natural Resources and Environment, Dana Building, UMICH, Ann Arbor, MI 48109-1115, USA.

<sup>3</sup> Jardín Botánico, UNAM, Apdo. postal 70-614. México, D.F. 04510, México.



ELSEVIER

Agriculture, Ecosystems and Environment 80 (2000) 61–69

Agriculture  
Ecosystems &  
Environment

www.elsevier.com/locate/agee

## Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico

Lorena Soto-Pinto<sup>a,\*</sup>, Ivette Perfecto<sup>b,1</sup>, Juan Castillo-Hernandez<sup>a</sup>, Javier Caballero-Nieto<sup>c</sup>

<sup>a</sup> *El Colegio de la Frontera Sur, Apartado Postal 63, San Cristobal, Chiapas 29200, Mexico*

<sup>b</sup> *School of Natural Resources and Environment, Dana Building, UMICH, Ann Arbor, MI 48109-1115, USA*

<sup>c</sup> *Jardin Botanico de la Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Circuito Exterior de Ciudad Universitaria, Mexico D.F. 04510, Mexico*

Received 14 December 1998; received in revised form 14 July 1999; accepted 23 January 2000

### Abstract

The necessity of on-farm research to assess the relationship between shade ecological features and yields has been broadly recognised. On this basis, a more sustainable coffee system could be developed, with better conservation of natural resources. An on-farm research project was conducted in the municipality of Chilón, Chiapas, Mexico, with the objectives of investigating the effect of shade structure on coffee grain yield and assessing the potential uses of associated plant species.

Results showed that shade cover percentage and coffee shrub density had significant effects on yields. Maintaining coffee shrub density as a constant, a regression equation related yield to percentage shade by a quadratic polynomial. Coffee density had a significant effect on yields but shade tree density had no effect. Coffee cultivar, age of coffee stand, species richness, shade tree density, basal area, slope and aspect did not have significant effects on coffee yields. Shade tree cover had a positive effect between 23 and 38% shade cover and yield was then maintained up to 48%. Production may decrease under shade cover >50%. A total of 61 shade species were found, with an average density of 260 trees per hectare, the majority of them being indigenous species, used as food, construction materials and as firewood. The role of ecological features associated with shade on yields and availability of natural resources obtained from coffee systems are discussed. © 2000 Elsevier Science B.V. All rights reserved.

**Keywords:** Coffee; Cover; Shade; Agroforestry; On-farm research; Mexico

### 1. Introduction

Shade coffee systems, especially those that maintain a dense natural shade have been found to maintain a high level of biodiversity (Perfecto et al., 1996). Because of the potential of shade coffee as a refuge of

biodiversity, coffee producers have been encouraged to maintain a dense, high diversity shade in their plantations.

Most of Mexico's coffee production is based on shade tree agroforestry. Several systems have been recognised depending on the type of canopy and the density of trees: broad sunlight monoculture systems, monospecific shade systems, diverse planted shade and systems under dense natural shade (Jiménez-Avila and Martínez, 1979; Moguel and Toledo, 1999). According to available data (Moguel and Toledo, 1999), coffee monocultures are mainly associated

\* Corresponding author. Tel.: +52-967-8-18-83/84; fax: +52-967-8-23-22.

E-mail addresses: lsoto@slc.ecosur.mx (L. Soto-Pinto), lperfecto@umich.ed (I. Perfecto)

<sup>1</sup> Tel.: +1-313-936-2195; fax: +1-313-936-2195.



with medium and large farms which cover up to 30% of land devoted to coffee production in Mexico. Traditional systems (with dense natural shade and low-dense coffee shrub density) are associated with medium and small farms, with either communal or private land tenure systems making up to 70% of the land under coffee cultivation (Nestel, 1995; Moguel and Toledo, 1999).

The state of Chiapas ranks first in coffee production in Mexico with 23% of the national production. Seventy seven of its 101 municipalities produce coffee making up 163,695 ha with an average yield of 739 kg/ha (Rice, 1997).

The age of coffee stand and altitude can influence yields. However, few studies have been carried out which describe the effect of natural environmental factors, specially constraining factors (soil fertility, water availability, temperature) and their interactions with coffee yields (Beer et al., 1998). Most of the studies on coffee stand structure in relation to production levels have been conducted in experimental fields. Studies on producer plots are scarce and of the qualitative type (Muschler and Bonnemann, 1997).

It has been assumed, and to some extent documented, that the shade tree-crop association is beneficial ecologically as well as economically (Jiménez-Avila and Martínez, 1979; Barradas and Fanjul, 1984; Beer, 1987). The role of trees in the conservation of soils and watersheds is well established (Nair, 1989). Furthermore, shaded coffee plantations have been proposed as refuges for biodiversity because they can potentially preserve high diversity of organisms such as birds, arthropods, mammals and orchids (Aguilar-Ortíz, 1980; Morón and López-Méndez, 1985; Nir, 1988; Ibarra-Núñez, 1990; Gallina et al., 1996; Perfecto et al., 1996, 1997; Greenberg et al., 1997). More recently, the role of trees in carbon sequestration has been proposed as a means to increase the income of small coffee farmers in Mexico (Jong et al., 1995, 1997). Also the role of trees as a source of cash income though their potential to produce wood and fruits has been well documented (Beer, 1987; Escalante, 1995; Hernández et al., 1997).

On the other hand, it has been assumed that a high tree density will result in significantly lower yields for coffee producers. However no on-farm studies have been conducted to determine the relationship between shade and coffee yields. The need to investigate this

relationship has been recognised as a priority by specialists in coffee agroforestry systems (Muschler and Bonnemann, 1997; Beer et al., 1998). The purpose of this investigation was to analyse the effect of shade structure on coffee yields and to assess the resource potential of the coffee plantations at the municipality of Chilón (northern Tzeltal zone) in the state of Chiapas, Mexico. This on-farm research was carried out as part of a collaboration between El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) and the Pajal Yak'actic Union of producers.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Study area and selection of sampling sites

The study was conducted in the municipality of Chilón, Chiapas Mexico (Fig. 1). The study area is located in the subtropical zone characterised by a gradient from 800 to 1200 m asl, mean annual rainfall of 2000 mm, annual temperature average of 22°. Soils are recent, thin and stony. Tzeltal indigenous people identify two generic types of soils, the *jii'lum* and the *chavec'lum* which correspond to names for loamy sand and loamy soils, respectively.

A diagnosis questionnaire was used to gather socio-economic and technical information from 50 coffee producers. This questionnaire was used to identify technological variation and a shade gradient, which was verified in the field in order to select the study plots. Censuses, maps and photographs were also examined.

The northern Tzeltal indigenous coffee production system may be classified as an agroforestry system, which combines coffee shrubs with multi-purpose shade species. Producers own between 0.5 and 3 ha, which they plant in coffee. They plant a mixture of coffee cultivars, with one predominating: 'Bourbon', 'Caturra', 'Arabica' and 'Mondonovo'. Farmers in the region maintain shaded coffee stands and some patches with less shade but they do not have unshaded coffee. The less-shaded patches were used to establish low-shade plots. A total of thirty-six 10 m × 10 m plots were established within a shade gradient ranging from 23 to 70% shade cover and within an altitude gradient ranging from 600 to 1100 m. These plots were distributed equally in accordance with coffee



Fig. 1. Study area. Municipality of Chilón, Chiapas, Mexico.

plants age classes as follows: (1) from 2 to 6 years old; (2) from 7 to 11 years old; (3) from 12 to 15 years old; and (4) more than 15 years old. Altitude, slope and aspect were also recorded for each plot.

## 2.2. Coffee stand structure and measurements

At each of the 36 plots the following were measured: coffee bush density, plant species richness, shade species height and diameter at breast height (d.b.h). Basal area was calculated by means of multiplying diameter by height. Frequency, abundance and density of shade species were divided into live form classes: herbs as tall as or taller than the coffee bushes; shrubs or trees <10 cm d.b.h; shrubs or trees >10 cm. A vertical profile was drawn for each plot to register the number of shade strata, and the tree-top (crown) shapes and position within the canopy, according to Hutchinson (1988). Plant species uses were recorded based on in-site informal interviews with the producers. Samples of shade species present in each plot were collected, and voucher specimens were identified and deposited in the El Colegio de la Frontera Sur's Herbarium.

In 1997, two hemispheric photographs were taken upwards from the middle of each plot, from a height of 1.6 m, one in the drought season (February) and one in the rainy season (September). A Pentax K-1000 camera, hemispheric type Pentax lens, black and white Fuji ISO 100 film and a light sensor were used according to the methodology proposed by Anderson (1964). Photographs were turned into electronic images through a scanner and edited through Adobe Photoshop soft-

ware. The Hemiphot computing package from Wageningen University (Steege, 1996) was used in order to calculate shade cover percentage, direct, diffuse and total photon flux density for each plot. This package computes for any plot aspect, latitude, longitude and altitude, the percentage of cover based on the surface black covered (vegetation) of the photo; it also computes photon flux density under the canopy by means of a model based on the movement of the sun over the canopy. The mean percentage of cover and the mean of total light under the canopy from both photos were used for the analysis.

Coffee yields over a 3-year-period were evaluated (1996–1997, 1997–1998, 1998–1999). The first and the last years were estimated by sampling three twigs (middle, high and low part of the bush) from five randomly selected plants in each plot and by counting the total number of both productive and non-productive twigs (Comisión Nacional del Café de Nicaragua, 1992). The 1997–1998 cycle coffee yield was estimated by counting the berries on all the twigs from five randomly selected plants in each plot. In order to estimate the dry weight of clean coffee from the number of berries, a kilogram randomly selected for each sample of berries, was counted, cleaned, dried and weighed (adjusted to 12% moisture content). The mean yield of 3 years was used for the analysis.

## 2.3. Statistical analyses

Questionnaires and strata profiles were analysed by descriptive statistical methods in order to characterise the selected plots and the coffee systems in the

Table 1  
Coffee system features from 36 study plots in Chilón, Mexico

Variable	Mean of 36 plots	Minimum of 36 plots	Maximum of 36 plots	S.D. <sup>a</sup>
Coffee shrubs/ha	1927	800	3500	548.6
Shade cover (%)	46.7	22.9	70.0	12.7
<10 cm d.b.h. trees/ha	177	0	500	41.6
>10 cm d.b.h. tree/ha	286	100	900	214.0
Shade trees/ha	463	100	1000	221.9
Basal area (m <sup>2</sup> /ha)	171.3	20	516	143.8
No. of species/plot	3.5	1	8	1.9

<sup>a</sup> S.D.: Standard deviation.

study area. Data on inventory and yields were analysed through general linear models and correlation analyses (SAS Institute Inc., 1989). Yield (3-year-mean) was used as the dependent variable, and altitude, shade cover, coffee bush density, total shade tree density, basal area and coffee stand age were entered as independent variables in the multivariate regression analysis. Total shade tree density, basal area, photon flux density and shade covers were independent variables. Coffee bush density was maintained as a constant in order to fit a regression equation relating shade cover and yields in which 25 plots between 23 and 70% shade cover were included. Yield data were analysed by coffee stand age classes. Yields were log-transformed to decrease variability (Steel and Torrie, 1985).

### 3. Results

#### 3.1. Coffee stand's structure and species richness

Table 1 shows that coffee bush densities varied between 800 and 3500 plants per ha. The average shade tree density was 464 trees per ha ranging from a minimum of 100 to a maximum of 1000. Basal area averaged 171.3 m<sup>2</sup>/ha, and species richness averaged 3.5 species per plot.

The shade vegetation showed a complex distribution in the vertical profile (Fig. 2). The average profile showed 26% of full sunlight trees; 10% of plenty of superiorly directly lit trees; 15% of some superior directly lit trees; 49% of diffusely lit trees/shrubs.

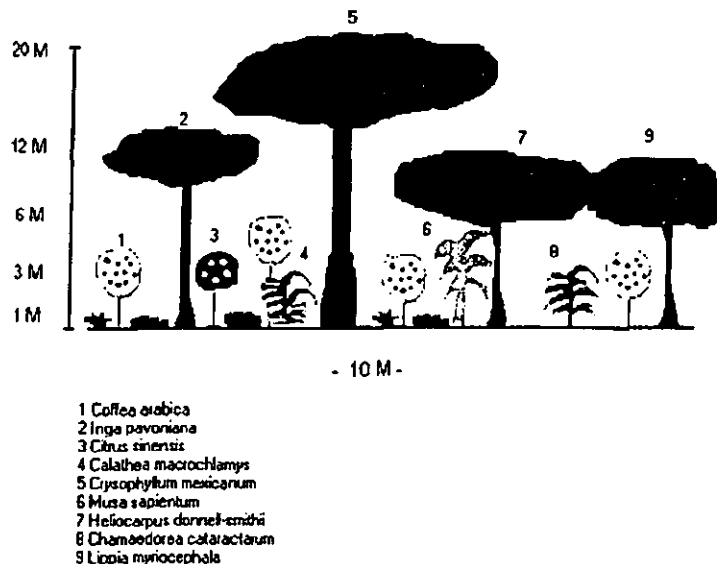


Fig. 2. A typical coffee stand profile from Chilón Mexico.

The coffee stands reveal five strata. The herbaceous stratum mainly comprise weeds, coffee seedlings and seedlings of woody species of natural vegetation. Two shrubby strata were observed; the first ranging from 1 to 3 m is mainly made up of coffee shrubs, tall herbs and some small fruit trees; the second shrubby stratum ranging from 3 to 6 m is made up of fruit trees and thin woody trees (<10 cm d.b.h). The fourth stratum corresponds to large trees with canopies between 6 and 12 m (>10 cm d.b.h). The fifth stratum which ranges from 12 to 20 m high is made up of emergent trees (>10 cm d.b.h.) representing the upper canopy of the coffee stand. These last two strata constitute the main shade for coffee in the region (Fig. 2). Treetops presented different shapes: 49% showed a complete circle shape; 14% irregular circle shape; 21% half circle shape; and the rest 16% showed less-than-half circle shape, few twigs or mainly spouts. Seven tallest species (>15 m high) were recorded (Table 2); they represented 6.9% of the total shade vegetation. A systematic disposition of shade trees was not revealed.

The shade vegetation comprised: trees 65.6%, shrubs (coffee not included) 24.6%, woody herbs 4.9% and palms 4.9%. Each coffee stand had its own species diversity, because the coffee stands are, in general, established from different-aged secondary vegetation by eliminating the lowest strata and some trees of superior strata. From the total shade species, 67.2% had less than 1% relative abundance (RA); 28% had 1–5% RA and only three species had more than 5% RA: *Inga pavoniana*, *Chamaedorea cataractarum* and *Inga punctata* (Table 2). Six species presented the highest frequency: *Inga pavoniana* (62%), *Inga punctata* (28%), *Musa sapientum* (13%), *Calathea macrochlamys* (10%), *Eugenia jambos* (10%), and *Citrus sinensis* (10%).

Inventory and informal on-site interviews with producers revealed 61 useful species of shade trees and shrubs; of this total, 88.5 % were indigenous species. The shade trees and shrubs are mainly used for food (25.8%), firewood (29%) and construction (15%); the rest (30.2%) had other uses for forage, handicrafts,

Table 2  
Shade species in coffee stands from Chiapas, Mexico

Local name	Species	Use (s) <sup>a</sup>	Living form	Relative abundance
Ashin'te	<i>Solanum aphyodendron</i> Knapp	1	Shrub	0.5
Atsam'te	<i>Myrica cerifera</i> L.	3, 5	Tree	0.5
Baas	<i>Desmoncus schippii</i> Burr.	1, 4	Tall Herb	0.5
Cacao	<i>Theobroma cacao</i> L.	1, 7	Shrub	1.4
Cacaté	<i>Oecopetalum mexicanum</i> Gr. & Th.	1	Tree	2.4
Cantelal tzi	<i>Senna papilosa</i> (B. & R.) I. & B.	5	Tree	0.5
Cedro	<i>Cedrela mexicana</i> Roe	3, 4, 7	Tree	0.9
Coquil'te <sup>b</sup>	<i>Inga pavoniana</i> Donn.	1, 5, 7	Tree	21.7
Chac'taj'mut	<i>Miconia</i> aff. <i>ibaguensis</i> (Bonpl.) Triana	3, 5	Tree	0.5
Chacaj or Luluy	<i>Bursera simaruba</i> (L.) S.	3	Tree	0.5
Chapay or act	<i>Astrocharium mexicanum</i> Liebm.	1	Palm	1.4
Chi'b	<i>Chamaedorea cataractarum</i> Liebm.	1	Tree	10.4
Chi'ch bat	<i>Croton draco</i> Schlecht.	7	Tree	0.9
Chii't <sup>b</sup>	<i>Chrysophyllum mexicanum</i> (Brand) Standl.	1, 5	Tree	2.4
Chinino	<i>Persea schiedeana</i> Nees	5	Tree	0.9
Guarón	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bert	3	Tree	0.5
Guayaba	<i>Psidium guajava</i> L.	1, 5, 6	Tree	1.4
Hule	<i>Castilla elastica</i> Cerv.	1, 8	Tree	0.9
Ik'bat <sup>b</sup>	<i>Belotia mexicana</i> Shum.	7	Tree	2.4
Ichil'te	<i>Zanthoxylum</i> aff. <i>kellermanii</i> P. Wilson	3	Tree	0.5
Joma or Mojtó	<i>Chamaedorea tepejilote</i> Liebm.	1, 2	Palm	0.9
Jono 'ha	<i>Heliocarpus donnell-smithii</i> Rose	9	Tree	0.5
Juun	<i>Sapium</i> sp.	3, 4	Shrub	0.5
Jaal'te	<i>Clibadium arboreum</i> Donn. Sm.	5	Tree	0.5
Jitit'ul	Non identified	4, 5	Tree	0.5

Table 2 (Continued).

Local name	Species	Use (s) <sup>a</sup>	Living form	Relative abundance
Limón	<i>Citrus aurantifolia</i> Osb.	1	Shrub	1.9
Mandarina	<i>Citrus nobilis</i> Lour.	1	Shrub	0.5
Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	1	Tree	0.5
Mistel	<i>Amphitecna macrophylla</i> (Seem.) Miers.	1	Tree	0.5
Momun	<i>Piper auritum</i> Kunth	1	Tall herb	1.4
Mot'e	<i>Erythrina</i> sp.	1, 3	Tree	1.4
Naranja	<i>Citrus sinensis</i> Osb.	1, 6	Shrub	3.8
On'te	<i>Nectandra globosa</i> (Aublet) Mez.	5	Tree	0.9
Pajul'te <sup>b</sup>	<i>Zanthoxylum</i> aff. <i>microcarpum</i> Griseb	3	Tree	1.4
Papaya	<i>Carica pennata</i> Heilb.	1	Tree	0.5
Pimil	<i>Calathea macrochlamys</i> Woodson & Standl.	9	Tall herb	1.9
Plátano roatan	<i>Musa sapientum</i> L.	1, 7	Tree	4.7
Pom'te	<i>Neurolaena lobata</i> (L.) R. Br.	5	Shrub	1.4
Pomarrosa	<i>Eugenia jambos</i> L.	1, 7	Tree	1.9
Sac juluchay	<i>Bernardia</i> aff. <i>interrupta</i> (Schel.) Muell-Arg.	5	Tree	0.5
Sac Mumus	<i>Lippia myriocephala</i> Schlech. & Cham.	3	Tree	1.9
Sajal Bat	<i>Heliocarpus mexicanus</i> (Turcz.) Sprague	5, 9	Tree	0.5
Saquil Bat	<i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz.	5, 9	Tree	0.5
Shin'te <sup>b</sup>	<i>Lonchocarpus</i> sp.	5, 7	Shrub	1.4
Sitit	<i>Vernonia deppeana</i> Less.	5	Shrub	0.5
Sun	<i>Tithonia rotundifolia</i> (Miller) Blake	1	Shrub	0.5
Tanchit	<i>Casearia corymbosa</i> Kunth	3, 5	Tree	0.5
Toj'pos'te	<i>Cupania dentata</i> D.C.	5	Tree	0.5
Tumin'te	<i>Croton hillbergianus</i> Mull Arg.	5	Tree	0.5
Tzajalobal	<i>Musa sapientum</i> L.	1, 7, 9	Shrub	0.5
Tzelel <sup>b</sup>	<i>Inga punctata</i> Willd.	5, 7	Tree	9.9
Tzost'e	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	3, 5	Tree	0.5
Ujchum	Non identified	7	Shrub	0.5
Ulusí	<i>Myriocarpum longipes</i> Liebm.	5	Tree	0.5
Weel	<i>Orthion subsessile</i> (Standl.) Steyerm. & Stadl.	5	Tree	0.5
Xacaxte	<i>Blepharidium mexicanum</i> Standl.	3, 5	Shrub	0.5
Xaxib'te	<i>Senna multijuga</i> (L.C. Rich.) I. & B. var <i>doylei</i>	3, 5, 7	Tree	0.9
Xoch'bat	<i>Heliocarpus reticulatus</i> Nash	5, 9	Tree	0.5
Ya can chamel	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Dacne & Planchon	5	Shrub	0.5
Yash'ajal'te	<i>Eupatorium chiapensis</i> Rob.	7	Shrub	0.9
Zapote	<i>Calocarpum zapota</i> Merr.	1, 7	Tree	0.9

<sup>a</sup> Use Key: 1) Food, 2) Forage, 3) Construction, 4) Handicrafts, 5) Firewood, 6) Medicinal plant, 7) Shade, 8) Gum, 9) Other uses or services.

<sup>b</sup> Tallest species.

medicine, shade, gum, condiment and domestic uses. Many of the species are multipurpose species (Table 2), some providing enough firewood to satisfy domestic needs. The introduced plants are mainly used for food. Among those plants used for food, farmers reported 15 different products, mainly fruits. Other products reported were leaves, stems and flowers, all used for consumption summing up to a total of 13 additional goods derived from seven shade shrubby species. Farmers also reported additional products de-

rived from the herbaceous stratum. In addition to the plants that are used in some form by the local community, other resources with potential commercial or domestic use were identified, including fungal species and plant species of the families Araceae and Cycadaceae and the epiphytic bromeliads, ferns and orchids. Some 3% of the total shade vegetation was recorded as dead trees or shrubs, that could be important for bird habitat (R. Greenberg, Personal Communication, 1999).

On the other hand, the species richness of shade species within the altitudinal band where the study plots were located showed a significant correlation with altitude ( $p < 0.001$ ,  $r^2 = 0.43$ ). The coffee stands of greater species richness are found in the ecozone at the higher elevation, corresponding to montane rainforest; poorer species richness was found at lower altitudes corresponding to sub-perennial rainforest.

### 3.2. Coffee yields

The sampled plots averaged 835.8 g per coffee bush for the 3-year-period. The percentage of shade cover and the density of coffee bushes significantly affected coffee yields ( $p < 0.001$ ;  $r^2 = 0.68$ ). The function that describes the relation between shade cover, coffee density and yields was the following:

$$Y = 5 + 0.13 (\text{shade cover}) - 0.0013 \times (\text{shade cover})^2 - 0.054 \left( \frac{\text{coffee density}}{100} \right)$$

Where  $Y = \text{Log Yields}$  (grams of clean coffee per plant), shade cover = Percentage of shade vegetation cover (%), Coffee density = Coffee shrubs per hectare.

Fig. 3 presents the distribution of yields in relation to shade cover percentage maintaining the coffee bush density as a constant. Shade tree cover had a positive effect in the range between 23 and 38% shade cover.

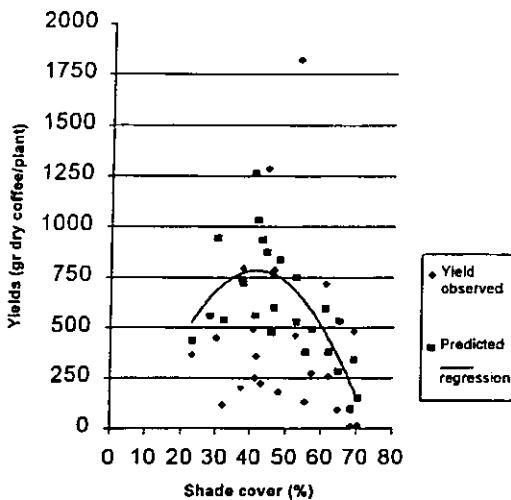


Fig. 3. Effect of shade cover on coffee yields, maintaining coffee density as constant, at 2200 coffee plants/hectare.

Between 38 and 48% shade yield is maintained. Production decreases with shade cover greater than 50%. Altitude did not have significance in the multivariate regression analyses, but alone, it showed a negative correlation on yields ( $p < 0.005$ ,  $r^2 = -0.43$ ). Variables such as age of coffee stand, cultivar, species richness, shade tree density, basal area, photon flux density, slope and aspect did not have significant effects on coffee yields ( $p < 0.05$ ).

### 4. Discussion

The results show a more complex relationship among density, shade cover and yields than that has been assumed and reported in the literature. Other authors have reported that an increase in shade tree density will result in coffee yield decreases, including Nolasco (1985) who reported that more than half the coffee stands in Mexico are overshadowed which possibly reduce yields. She reported that more than 50% of 1008 coffee stands under study in Mexico gave poor yields (between 54 and 540 kg/ha) with shade tree densities between less than 100 and 998 trees per ha. In Costa Rica, after 10 years of experimentation, Hernandez et al. (1997) concluded that a density of 100 trees of *Cordia alliodora* per ha maintained the same yields as without shade control, but with higher densities a decrease in yields was observed. Similarly, in Venezuela, Escalante (1995) found that by increasing the number of shade and woody trees from 259 to 353 per ha yields were reduced by 26% and by increasing shade trees, wood trees and fruit trees from 419 to 561 per ha, yield was reduced by 100%. However, density of shade trees does not necessarily correspond to shade cover as shown here.

Although this study did not detect an effect on tree density per se on yields, shade cover did have an influence. It seems that the coffee plant is sensitive to light to the extent that the effect of shade cover on coffee yields is more important than the shade tree density, especially in these traditional low density-coffee-shrub systems where the constraining factor is likely to be light.

The highest yields found in the present study corresponded with a shade cover between 30 and 45%. This is similar to that reported by Muschler (1997) in Costa Rica, who found the best yields at 40% cover shade.

Rayner (1942) explained the need and importance of shade to control high temperatures and light intensity for the optimal growth and yield of coffee in Latin America. Nevertheless, other authors (Huerta, 1954; Alvim, 1960) have observed favourable effects, particularly on the photosynthesis rate, in plants grown in full sunlight.

In recent years, because it has been suggested that a higher incidence of coffee berry borer (Bergamin, 1946) and coffee leaf rust (Agrios, 1982) occur in coffee crops under shade, practices now advocate a reduction in shade, with increased reliance on new high-yielding cultivars, use of chemical inputs, pruning, and high coffee plant density (Coyner, 1960; Perfecto et al., 1996). Naturally, this decreases landscape and species diversity.

The features of the coffee systems described here, on the other hand, promote conservation of natural resources and landscape diversity, both of which may be of particular value to preserve the montane rain forest and sub-perennial rain forest.

The coffee production system described here appears to be robust when managed under shade. The results suggest that producers may continue keeping coffee stands under shade trees with around 50% shade cover and 460 trees per ha (60% trees/40% shrubs) with no significant decrease in yields, and with the added economic benefits derived from other products extracted from the plantations.

### Acknowledgements

The authors thank the producers from Pajal Yak'actic Credit Union for their interest in participatory research, especially the owners of those plots evaluated, and to Manuel de Jesus Martinez-Gomez who supported field work. The authors also thank John Beer and Johnny Perez from CATIE (Costa Rica) and Gerardo Segura and Robert Bye from the Universidad Nacional Autónoma de Mexico for advice and statistical support and also John Vandermeer from the University of Michigan for revision of the manuscript. Thanks to anonymous referees and an Editor-in chief for significant improvements to earlier drafts of this paper. Lorena Soto thanks Jorge Pinto-Mena for helpful translation. This investigation would not have been possible without the finan-

cial support of El Colegio de la Frontera Sur, and CONABIO-McArthur Foundation (M018797).

### References

- Agrios, G.N., 1982. Plant pathology. Orlando FL, Academic Press.
- Aguilar-Ortiz, F., 1980. Estudio ecológico de las aves del cafetal. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Ver. México.
- Alvim, P., 1960. Physiology of growth and flowering in coffee. *Coffee* 2 (6), 57–62.
- Anderson, M.C., 1964. Studies of the woodland light climate I. The photographic computation of light conditions. *J. Ecol.* 52, 27–41.
- Barradas, V.L., Fanjul, L., 1984. La importancia de la cobertura arbórea en la temperatura del agroecosistema cafetalero. *Biótica*. 9 (4), 415–421.
- Beer, J., 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. *Agrofor. Syst.* 5, 3–13.
- Beer, J., Muschler, R., Kass, D., Somarriba, E., 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agrofor. Syst.* 38, 139–164.
- Bergamin, J., 1946. As chuvas e a broca do café. *Boletim da Superintendencia dos Servicos do Café (Brazil)*, 41 (232), 282–283.
- Comisión Nacional del Café de Nicaragua, 1992. Estimación de cosecha en plantaciones de café en Nicaragua. Instituto Hondureño del Café (Comp.), Seminario-Taller Regional sobre Pronósticos de Cosechas de Café, Tegucigalpa, Honduras, pp. 54–77.
- Coyner, M.S., 1960. Agriculture and trade in Nicaragua. Washington DC, Foreign Agriculture Service.
- Escalante, E., 1995. Coffee and agroforestry in Venezuela. *Agrofor. Today* 7 (3/4), 5–7.
- Gallina, S., Mandujano, S., González-Romero, A., 1996. Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of Central Veracruz, Mexico. *Agrofor. Syst.* 33, 13–27.
- Greenberg, R., Bichier, P., Sterling, J., 1997. Bird populations and planted shade coffee plantations of eastern Chiapas. *Biotropica* 29 (4), 501–514.
- Hernández, G.O., Beer, J., von Platen, H., 1997. Rendimiento de café (*Coffea arabica* cv Catuma), producción de madera (*Cordia alliodora*) y análisis financiero de plantaciones con diferentes densidades de sombra en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas (Costa Rica)* 4 (13), 8–13.
- Huerta, H.S., 1954. La influencia de la intensidad de luz en la eficiencia asimilatoria y el crecimiento de cafeto. IICA, Costa Rica.
- Hutchinson, I.D., 1988. Points of departure for silviculture in humid tropical forests. *Commonwealth For. Rev.* 67 (3), 223–230.
- 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.

- Jiménez-Avila, E., Martínez, V.P., 1979. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero II. Producción de materia orgánica en diferentes tipos de estructura. *Biótica*, 4, 109–126.
- Jong, B.H., Montoya-Gómez, G., Nelson, K., Soto-Pinto, M.L., Taylor, J., Tipper, R., 1995. Community forest management and carbon sequestration: a feasibility study from Chiapas, Mexico. *Interciencia*, 20 (6), 409–416.
- Jong, B.H., Soto-Pinto, M.L., Montoya-Gómez, G., Nelson, K., Taylor, J., Tipper, R., 1997. Forestry and agroforestry land-use systems for Carbon mitigation: an analysis in Chiapas, Mexico. In: Adger, W.N., Pettenella, D., Whitby, M. (Eds.), *Climate-Change Mitigation and European Land-Use Policies*. CAB International, pp. 269–246.
- Moguel, P., Toledo, V.M., 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conserv. Biol.* 13 (1), 1–11.
- Morón, M.A., López-Méndez, J.A., 1985. Análisis de la entomofauna necrófila de un cafetal en el Soconusco, Chiapas, México. *Folia Entomológica Mexicana* 63, 47–59.
- Muschler, R.G., 1997. Efectos de sombra de *Erythrina poeppigiana* sobre *Coffea arabica* vars. Caturra y Catimor. *Memorias del XVIII Simposium Latinoamericano de Cafeticultura*, September 1997. San Jose, Costa Rica, pp. 157–162.
- Muschler, R.G., Bonnemann, A., 1997. Potentials and limitations of agroforestry for changing land-use in the tropics: experiences from Central America. *For. Ecol. Manage.* 91, 61–73.
- Nair, P.K.R., 1989. *Agroforestry Systems in the Tropics*. Kluwer Academic-ICRAF, Dordrecht, The Netherlands, 664 pp.
- Nestel, D., 1995. Coffee in Mexico: international market, agricultural landscape and ecology. *Ecol. Econ.* 15, 165–178.
- Nir, M.A., 1988. The survivors: orchids on a Puerto Rican coffee finca. *Am. Orchid Soc. Bull.* 57, 989–995.
- Nolasco, M., 1985. *Cafe y sociedad en Mexico*. Centro de Ecodesarrollo, Mexico, D.F.
- Perfecto, I., Rice, R., Greenberg, R., van der Voort, M.E., 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 agro-ecosystem. *Biodiv. Conserv.* 6, 935–945.
- Rayner, R.W., 1942. Shading of coffee in Latin America. *The Coffee Board of Kenya Monthly Bulletin* 7 (80), 97.
- Rice, R.A., 1997. The land use patterns and the history of coffee in eastern Chiapas, Mexico. *Agric. Human Values* 14, 127–143.
- SAS Institute Inc., 1989. *SAS/STAT User's Guide, Version 6, Fourth Edition*. SAS Institute Inc. 2 Vols. Cary, NC.
- Steege, H., 1996. *Hemiphot, Steege-Tropenbos*. University of Wageningen, The Netherlands.
- Steel, R.G., Torrie, J., 1985. *Bioestadística: principios y procedimientos*. McGraw Hill, Segunda Edición, Mexico, D.F.



## Capítulo V

# **Vegetation complexity and effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in shaded coffee plantations**

Lorena Soto-Pinto<sup>1</sup>, Ivette Perfecto<sup>2</sup>, Javier  
Caballero-Nieto<sup>3</sup>

Sometido a la Revista Agroforestry Systems

---

<sup>1</sup> El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR. Apdo. postal 63, San Cristóbal, Chiapas, México.  
[lsoto@sclc.ecosur.mx](mailto:lsoto@sclc.ecosur.mx).

<sup>2</sup> School of Natural Resources and Environment, Dana Building, UMICH, Ann Arbor, MI 48109-1115, USA.

<sup>3</sup> Jardín Botánico, UNAM, Apdo. postal 70-614. México, D.F. 04510, México.

**V. Vegetation complexity and effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in shaded coffee plantations<sup>1</sup>.**

**Lorena Soto-Pinto**

Present Address: El Colegio de la Frontera Sur. Apartado Postal 63, San Cristobal, Chiapas, 29200, Mexico. Tel (967) 8-18-83, 8-18-84; Fax: (967) 8-23-22. Email:

[lsoto@sclc.ecosur.mx](mailto:lsoto@sclc.ecosur.mx)

**Ivette Perfecto**

School of Natural Resources and Environment, Dana Building, UMICH, Ann Arbor, MI, 48109-1115 USA, Tel. (313) 936-2195, Fax (313) 936-2195 email:

[perfecto@umich.edu](mailto:perfecto@umich.edu)

**Javier Caballero-Nieto**

Jardin Botanico de la Universidad Nacional Autonoma de Mexico. Circuito Exterior de Ciudad Universitaria, Mexico D.F. 04510.

1 Sometido a *Agroforestry Systems*

## 5.1. Abstract

The objective of this on-farm research was to determine the relationship between different ecological features of shade and the incidence of coffee berry borer, coffee leaf rust and spontaneous herbs in rustic coffee plantations in Chiapas, Mexico. Thirty-six 10m by 10m plots were established within coffee plantations and the following variables were measured or estimated: number of vegetation strata, percentage canopy cover, direct, diffuse and total sunlight beneath the canopy, plant species richness and diversity, shade tree/shrub density, altitude, aspect, basal area, yields, percentage of coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferr) incidence, leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) incidence, percentage spontaneous herb cover and the presence of paths and runoffs. Results showed coffee plantation as complex agroforestry systems, composed of five vegetation strata. Coffee berry borer, coffee leaf rust incidences and spontaneous herbs averaged 1.5%, 10.1% and 34.1%, respectively. Coffee leaf rust percentage correlated positively with the coffee berry borer. Number of strata of shade vegetation correlated negatively with leaf rust, while the presence of paths correlated positively with the leaf rust. Species richness and diversity correlated negatively to broad-leaf-herb cover and the presence of runoffs correlated positively to this last variable. Shade tree density (>10 cm d.b.h.) correlated negatively to linear-leaf-herb cover. Percentage of shade cover, light, coffee density, aspect, altitude, stand age, basal area and yields were not correlated to pest, disease and weeds. Results are discussed in light of the ecological theory that postulates that diversity and structural complexity in crop

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGROPECUARIAS Y PESQUERAS

systems maintain a healthy system.

**Key words:** coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* Ferr., coffee leaf rust, *Hemileia vastatrix* Berk & Br., coffee, pests, weeds, shade, crop protection.

## 5.2. Introduction

Coffee is among the most important cash crops in the world (FAO, 2000). Insect pests, disease and weeds are important factors that limit coffee yields. In Mexico the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferr.), the coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) and weeds are the most important pest problems for coffee production. The coffee berry borer is Scolytid beetle that bores into both coffee berries and seeds, and it is considered the most important insect pest and the greatest economic threat to this crop (Baker, 1984). The leaf rust is caused by the fungus *Hemileia vastatrix* is the most important coffee disease. Finally, weeds have been reported to be responsible for around 50% of the labor costs in organic coffee in Latin America (Pülschen and Lutzeyer, 1993), especially when coffee plantations are invaded by grassy weeds. Bradshaw and Lanini (1995) described several studies that demonstrated the negative effects that weeds have on coffee; they report that allowing weeds to grow in coffee during the rainy season reduced yields by 39% compared with clean-weeded coffee over a 5-year period. However in this study we prefer to call spontaneous herbs instead of weeds, since producers do not perceive negative effects from these plants.

Worldwide, the coffee agroecosystem has been experimenting with an

intensification process during the last three decades, which consists mainly in the reduction or complete elimination of shade trees (Perfecto et al., 1996). Originally, this process was based on the assumption that high levels of shade promotes the incidence of the leaf rust and that yields and shade were negatively correlated (Willey, 1975). However, the effects of shade cover on coffee pests, diseases and yield have not been clearly assessed. Some authors have reported an increase in pest problems and diseases directly related with increase of light (Fonseca, 1939; Wringley, 1988; ICAFE, 1989), but others have reported the opposite effect (Nataraj and Subramanian, 1975; Eskes, 1982; Barrera and Covarrubias, unpublished). Similarly, the relationship between shade cover and coffee yield seems equivocal. Some researchers have reported an increase in yield with a decrease in shade cover (Huerta, 1954; Alvim, 1960), but others have reported a curvilinear relationship with higher yields at intermediate levels of shade (Muschler, 1997; Soto-Pinto, 2000). In relation to weeds, research to determine the effects of shade on weed biomass and composition have suggested that shade inhibits weed infestation and shifts weed composition (Jiménez-Avila, 1979; Nestel, 1995; Muschler, 1997; Beer, et al., 1998).

It seems that light is only one of the factors that affects productivity in coffee systems whereas other factors related to physical structure and diversity of the system can affect its health. It has been pointed out, for crops in general, that the complexity of physical structure and diversity of the plant canopy can decrease herbivore abundance and/or increase natural enemy abundance (Perrin, 1977; Kass, 1978; Altieri and Letorneau, 1982; Risch, 1981; Risch et al., 1983;

Vandermeer, 1992). There is also evidence that intercrops reduce diseases compared to monocultures (Moreno and Mora, 1984; Rheenen et al., 1981). Unfortunately, the relationships among ecological attributes of shade vegetation and incidence of pests, disease and weed populations in the coffee agroecosystem have been scarcely studied.

The objective of this research was to evaluate the effects of the ecological features of shade on the incidence of coffee berry borer, coffee leaf rust and spontaneous herbs cover in rustic coffee plantations in the northern Tzeltal zone of Chiapas, Mexico. This work was conducted on-farms as part of the project developed by the Producer's Union Pajal Yak'actic and El Colegio de la Frontera Sur in Chiapas, Mexico.

### **5.3. Methods**

#### **5.3.1. Study Area & Selection of Sampling Sites**

The study area included three communities from the Chilon Municipality in the state of Chiapas, Mexico (Figure 1): Muquenal, Alan K'antajal and Segundo Cololteel. These communities are located in the subtropical zone of the state, at an altitude gradient ranging from 600 m to 1100 m. The area has an average annual temperature between 22 °C and 24 °C and average annual rainfall of 2000 mm. The natural vegetation corresponds to tropical forest and mountain rainforest. Soils are generally recent, thin and stony. Local people (Tzeltal Mayan-descendants) identify two soil types, the "jii'lum" and the "chavec'lum" which correspond to sandy

and loamy soils, respectively. Most of the population practice agriculture, particularly the cultivation of maize, beans and coffee (INEGI, 1993).

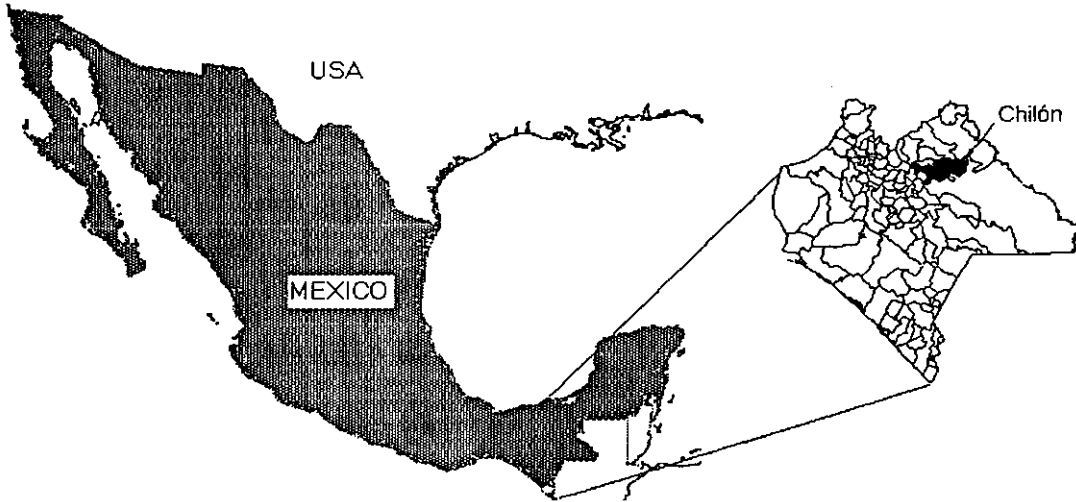


Figure 1. Study Area

Coffee is grown under the shade of natural vegetation by small producers (<5 ha), in a low-input farming system. Farmers do not fertilize, or use any other chemical inputs nor control shade by prunnings. The cultural practices performed consist of hand weeding twice a year, irregular coffee bush pruning, and bean harvesting. In addition, farmers collect fuelwood and other goods from coffee plantations for domestic consumption (Soto-Pinto et al., in press). Farmers have in average a coffee plot of one hectare with a mixture of four coffee varieties:

Bourbon, Caturra, Mundo Novo and Typica, planted at an average density of 1900 shrubs per hectare. Producers in the region maintain shaded coffee stands and some patches with less shade but they do not have unshaded coffee.

Producers do not have plots with unshaded coffee, but they have a gradient of varied-lit-patches between 23 to 70% of shade cover. In August 1997 a total of 36 10 by 10 m sampling plots were established in this gradient. This plot size was determined in order to get an accurate measurement of light and cover through a fish-eye-lens photograph. The plots were distributed within an altitudinal gradient ranging from 600 to 1100m. Vegetation variables as well as pest densities were measured or estimated in each plot. In addition, altitude, slope and aspect were recorded for each plot. Aspect was measured in grades and transformed to a numerical scale between zero and one. Zero was assigned to south aspects (dry hills) and number one to north aspects (humid hills). The following formula was used (Roberts, 1986):

$$e_t = (\cos (e_0 - 30^\circ) + 1)/2$$

where:

$e_t$  = transformed aspect

$e_0$  = observed aspect

### 5.3.2. Vegetation variables

In order to characterize shade structure, a forest inventory at each of the 36



plots was conducted measuring the following vegetation variables: coffee bush density, shade species richness, shade species height and diameter at breast height (d.b.h). Basal area was calculated for each tree or shrub by means of the formula:

$$BA = (D/2)^2 * \pi$$

Where:

BA= basal area

D = diameter at breast height

Frequency, abundance and density of shade species (coffee shrub not included) were divided into live form classes: herbs as tall as or taller than the coffee bushes; shrubs or trees <10 cm d.b.h; shrubs or trees > 10 cm d.b.h. A vertical profile was drawn for each plot to register the number of shade strata by means of dividing the plot in four quadrants. Margalef diversity index for the vegetation (not including coffee) was calculated by the following formula (Margalef, 1958):

$$D = S - 1 / \log N$$

Where: D = diversity index, S = species number and N = number of individuals

In 1998 two hemispherical photographs were taken upwards from the middle of each plot, at a height of 1.60 m according to Anderson (1964). The first photograph was taken during the dry season (February, 1998) and the later one was taken in the rainy season (September, 1998). A Pentax K-1000 camera with

Pentax fish eye-lens, light sensor, and black and white Fuji ISO 100 film were used.

Photographs were scanned and edited in order to estimate canopy coverage, and direct, diffuse and total photon flux density below the canopy using the Hemiphot computing program (Steege, 1994). This program is based upon the principles of solar geometry and atmospheric physics, combined with the geometry of hemispherical lenses for any data of aspect, latitude, longitude and altitude. It includes the use of gray scales to estimate penumbral effects. The mean percentage of cover and the mean of total light under the canopy from both photos were used for the analysis.

Observations on the herbaceous stratum were made in order to register the biological living forms of its components and botanical composition to family level; the presence of seedlings of woody species of natural vegetation was recorded with the help of coffee growers.

### **5.3.3. Estimates of berry borer, leaf rust incidence and spontaneous herbs**

The percentage of the coffee berry borer incidence (BB) was estimated by counting the total number of fruits, including infected berries of five randomly selected plants per plot during the 1997-1998 and 1998-1999 production seasons. The percentage of coffee leaf rust (LR) infected leaves was estimated for the 1998-1999 season, by counting the total number of leaves, including those leaves attacked by rust as observed from four twigs taken at random from five plants.

Spontaneous herb cover (SH) was obtained by placing three 50 by 50cm squares frames randomly in the 100 m<sup>2</sup> plot, and visually estimating the percentages covered by spontaneous herbs of linear-leaf and broad-leaf before the second hand-weed cleaning in 1998 (Brawn-Blanquet, cited by Kershaw, 1973). Spontaneous herb species were collected and identified. Voucher specimens were deposited in ECOSUR's Herbarium. The presence of paths near the sampling plots and water runoffs were recorded per plot.

#### **5.3.4. Statistical Analyses**

In order to decrease the variability, percentile variables such as coffee berry borer, coffee leaf rust and spontaneous herb cover were square root transformed (Steel & Torrie, 1985).

Data on vegetation attributes, incidence of coffee berry borer, coffee leaf rust and spontaneous herb cover were analyzed through Correlation Analyses. Significant correlation between dependent and independent variables were analyzed through Stepwise Regression, in order to find significant effects. Duncan's Multiple Range Test by number of strata for variable leaf rust incidence was run. Mean difference between presence and absence of paths and runoffs for leaf rust, berry borer and spontaneous herb cover were analyzed though T Test (SPSS, 1997). The relationship between shade structure and yield was analyzed previously by Soto-Pinto et al. (2000).

## 5.4. Results

### 5.4.1. Vegetation structure and species richness

Rustic coffee plantations showed a complex vegetational structure. Five strata composed the associated vegetation (Figure 2). The first one was mainly composed by spontaneous herbs, coffee seedlings and seedlings of woody species of natural vegetation; the second one ranging from 1 to 3 m tall was mainly made up of coffee shrubs, tall herbs and some small fruit trees; the third one ranging from 3 to 6 m tall was made up of fruit trees and thin woody trees (<10 cm d.b.h.). The fourth stratum corresponds to large trees with canopies between 6 and 12 m tall (> 10 cm d.b.h.), receiving mainly lateral illumination or some direct illumination. The top stratum which ranges from 12 to 20 meters in height is conformed by emergent trees (>10 cm d.b.h.) representing the upper canopy of the coffee stand. A widespread distribution of shade trees was found.

The coffee stands of the area presented an average density of 463 shade trees or shrubs per hectare, varying from 100 to 1000 plants/hectare. The density of thin tree (understory trees < 10 cm d.b.h., coffee shrubs not included) averaged 177 trees/shrubs per hectare and the density of thick tree (overstory trees > 10 cm d.b.h.) averaged 286 trees or shrubs per hectare. The mean shade tree height was 7.6 m (including shrubs and tall herbs), but there were trees up to 20 m tall. A checklist of the species found in the coffee stands was published by Soto-Pinto et al. (2000). Photon flux density varied between 7.9 and 148.5 mol m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup> and the mean yield for two years of coffee production was of 835.8 g plant<sup>-1</sup> (approximately

1500 kg ha<sup>-1</sup>) (Table 1).

#### 5.4.2. Berry borer (BB), leaf rust incidences (LR) and spontaneous herb cover (SH)

The average coffee BB percentage for all plots was 1.5% (varying between 0.1% and 18.7% (Table 1). The percentage of coffee LR varied between 5.1% and 20.2% with an average of 10.1% (Table 1).

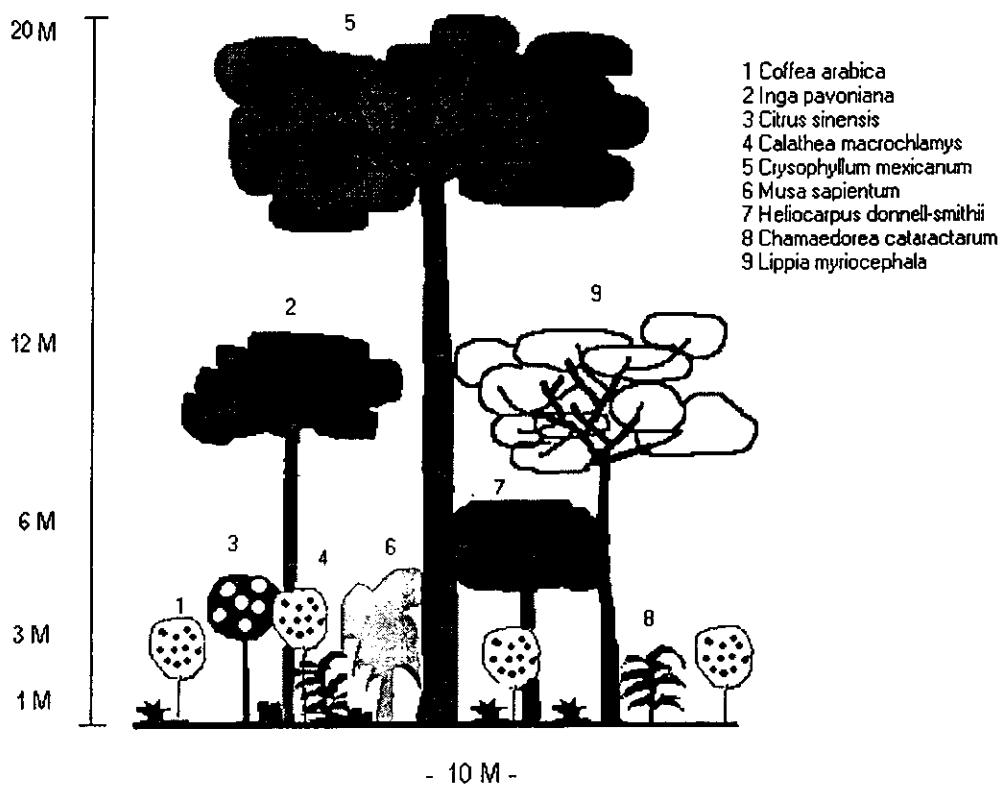


Figure 2. Average vertical profile of shaded coffee plantations in North Chiapas, Mexico.

Table 1. Parameters measured in 36 traditional coffee plots in Chilón, Chiapas, Mexico.

Variables	Mean	Minimum	Maximum	S.D.
Coffee berry borer (%)	1.5	0.1	18.7	3.2
Coffee leaf rust (%)	10.1	5.1	20.2	3.6
Broad-leaf weeds cover (%)	23.6	0	63.3	14.7
Linear-leaf weeds cover (%)	10.5	0	73.3	14.0
Shade cover (%)	46.8	22.9	70.0	12.7
Total sunlight below canopy (mol m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )	25.1	7.9	148.5	22.5
Mean shade tree height (m)	7.6	3.2	12.1	2.7
Non coffee thin trees (< 10 cm. d.b.h. tree/ha.)	177	0	500	142
Non coffee thick trees (> 10 cm. d.b.h. tree/ha.)	286	0	900	214
Non coffee total tree/ha	463	0	1000	222
Number of strata	2.6	1	4	0.86
Shade species richness in 100m <sup>2</sup>	3.5	1	8	1.9
Diversity index in 100m <sup>2</sup>	3.5	0	6.72	1.85
Coffee yields (gr. of clean coffee/plant)	835.8	58.6	2781	559.5

S.D.: Standard deviation

A mean of 34.1% spontaneous herb cover was found, varying between 0% and 86.6%. Of the total of spontaneous herbs, 69% were broad-leaf herbs (in general Dicotyledons) and 31% were narrow-leaf herbs (in general Monocotyledons). The narrow-leaf herbs group was mainly composed by plants in the family Poaceae (Gramineae), while the broad-leaf herbs group was constituted by 23 families of plants, mainly represented by Compositae, Leguminosae, Amaranthaceae, Malvaceae, Solanaceae, and Verbenaceae. The farmers do not consider spontaneous herbs to be a problem, since they do not perceive serious damage derived from these plants; in fact, some of the spontaneous herbs found are considered by people to be plants providing food, medicine, condiments, and fodder.

#### **5.4.3. Factors affecting BB, LR and SH**

No significant correlation was found between the incidence of the BB and any of the vegetation variables (Table 2). For the incidence of the LR the only significant correlation was a negative correlation in number of shade strata (Table 2) (Figure 3).

Tree species richness and diversity correlated negatively to broad-leaf-weeds ( $p < 0.05$ ; Figure 5), and tree density (of trees  $> 10$  cm d.b.h.) negatively correlated with narrow-leaf-weed percentage (Table 2).

Table 2. Correlation analysis between dependent and independent variables.  
Pearson Correlation Coefficients/Significance.

Independent variables	Dependent variables			
	Berry borer (%)/p value	Leaf Rust (%)/p value	Broad-leaf- weeds (%)/p value	Narrow- leaf-weeds (%)/p value
Coffee shrub density	0.24/0.15	0.12/0.46	-0.14/0.41	0.03/0.84
Number of shade strata	0.10/0.56	-0.34/0.04*	-0.20/0.23	0.01/0.95
Species richness	0.02/0.876	-0.18/0.29	-0.41/0.01*	-0.09/0.57
Diversity	-0.03/0.85	-0.16/0.33	-0.34/0.04*	0.01/0.94
Shade cover	0.23/0.17	0.02/0.89	-0.02/0.86	0.08/0.60
Basal Area	-0.25/0.14	-0.09/0.61	-0.08/0.64	-0.19/0.25
Thick tree (> 10 cm d.b.h.) density	-0.02/0.93	-0.11/0.49	-0.22/0.19	-0.32/0.05*
Thin tree (< 10 cm d.b.h.) density	0.03/0.84	-0.02/0.90	-0.05/0.76	0.22/0.20
Total tree density	0.01/0.97	-0.12/0.46	-0.24/0.14	-0.17/0.31
Altitude	-0.08/0.63	-0.24/0.14	-0.18/0.27	-0.07/0.67
Aspect	-0.26/0.12	0.05/0.73	0.03/0.81	-0.08/0.63
Total sunlight	-0.16/0.33	-0.12/0.47	-0.03/0.86	-0.08/0.62

\* significant correlation



Figure 3 shows the distribution of LR incidence in relation to the number of shade vegetation strata. According to a Duncan's Multiple Range Test, coffee plantations with 4 strata had significantly lower incidence of LR than coffee plantation with less than 4 strata ( $p < 0.05$ ). In addition, LR incidence was significantly higher in plots where paths were present, compared to plots without paths (T-test;  $p < 0.05$ ) (Figure 4).

Finally, increasing shade species richness decreases broad-leaf herbs cover (Figure 5), and the presence of runoffs significantly increased broad-leaf-herb cover (T-test;  $p < 0.05$ ).

The effect of altitude, age, varieties and other structure variables on yields was discussed previously by Soto-Pinto et al. (2000).

Figure 3. Distribution of coffee leaf rust in relation to number of strata in traditional coffee plantations. Mean separation based on Duncan's Multiple Range Test.

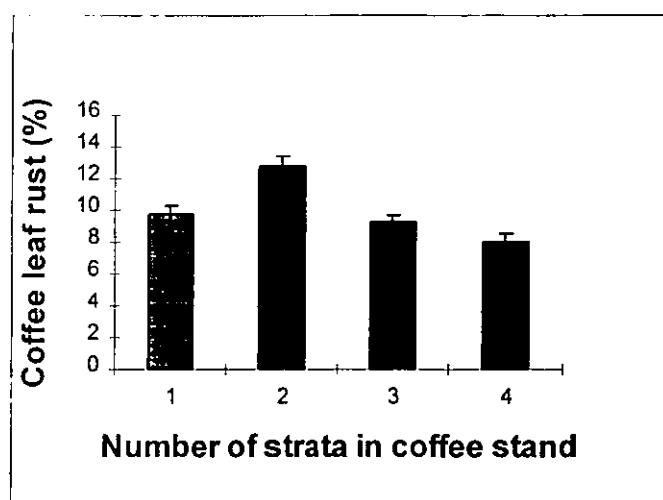


Figure 4. Distribution of coffee leaf rust in relation to the presence of paths within the coffee stand. Mean difference based upon T Test. Chilón, Chiapas, Mexico.

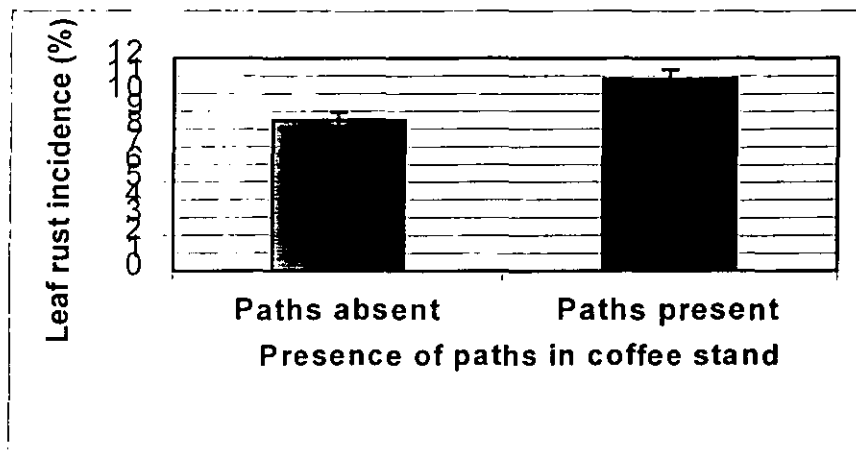
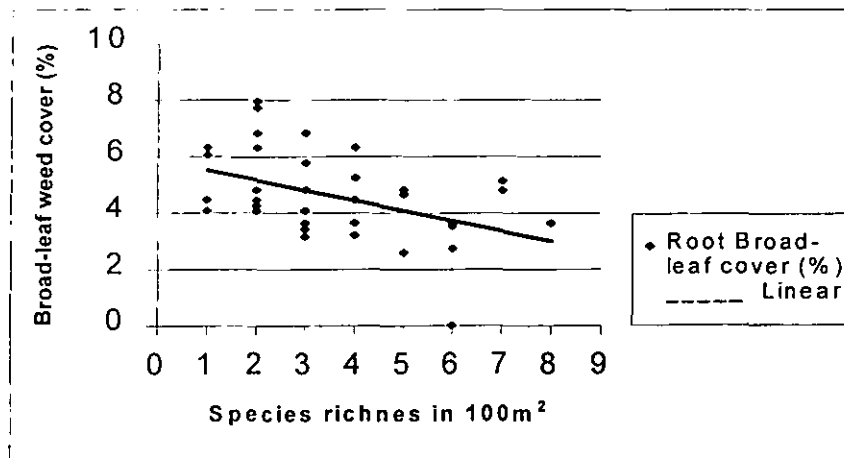


Figure 5. Effect of shade species richness on broad-leaf-herb cover percentage in rustic coffee plantations, Chilon, Chiapas, Mexico.



## 5.5. Discussion

Most of the plots (89%) showed BB attack within 0 to 4%; out of these, 42% had less than 1% of BB, and 47% had between 1.1 and 4% ; only 11 % of the plots had BB > 4% BB (Figure 6). A total of 57% of the plots showed LR incidence < 10%; 37% had 10% -15% incidence; and only 6% had higher percentages of LR (Figure 7). The incidence of BB and coffee LR found in this study were low compared to levels reported by other authors. Barrera and Covarrubias (unpublished data) found between 4.4% and 20.6% of coffee BB in Mexico and Avelino et al. (1991) reported 24% of coffee LR in this country; Brown et al. found 18% of coffee LR in Papua New Guinea; Batistella et al. (1983) 55.5% in Brazil; and Hernández and Sánchez (1978) reported between 22% and 83% in Guatemala.

Total sunlight and shade cover did not have a significant effect on the incidence of coffee BB and coffee LR, although previous studies have reported significant effects. Fonseca (1939), Hernández and Sánchez (1978), Barrera and Covarrubias (unpublished) and Wrigley (1988) found that the incidence of the BB was significantly favored when shade was increased. Some authors have demonstrated a significant increase in coffee LR with increasing light (Fonseca, 1939; Wrigley, 1988; ICAFE, 1989), although, other authors have found opposite results (Nataraj and Subramanian, 1975; Eskes, 1982; Barrera y Covarrubias, unpublished). However, our results on LR incidence coincide with those reported by Godinez (1997) who observed lower incidence of LR in mixed shade coffee systems than in *Inga* monoculture shade, and a similar decrease of the disease

originated by *Mycena citricolor* probably due to vegetation structure and composition complexity.

Our study found a mean of 23.6 spontaneous herb cover. Although the variation between plots was high, the majority of plots (80%) had low cover of spontaneous herb. No decreased spontaneous herb cover with shade was found, as has been reported by other authors (Jiménez-Avila, 1979; Beer et al., 1998), but we found broad-leaf-herbs dominating over grassy herbs, coinciding with other authors who have reported shifting weed species composition with shade (Jiménez-Avila, 1979).

The fact that the presence of paths within the coffee stands increased LR incidence lead us to think that paths can be acting as a means of spore dispersion for the fungus *H. vastatrix*. Additionally, the occurrence of runoffs can be adding humidity to the soil, promoting the emergence of broad-leaf-herbs.

Other factors such as, number of strata, shade tree density, plant species richness and diversity affect significantly the incidence of the organisms studied, suggesting that management factors, as well as shade diversity and physical structure may be determining a lower incidence the disease and weeds, as has been previously suggested by Connor (Personal communication cited by Altieri & Letorneau, 1982). Low percentages of coffee BB and coffee LR have been found in similar rustic systems in the region, which are characterized by diversity and structural complexity and low input of synthetic chemicals and low yields (Godínez, 1997; Jarquín, et al. 1999; Romero et al., Submitted). Low percentages of BB could be due to the presence of generalist natural enemies, mainly generalist

Figure 6. Distribution of the incidence of coffee berry borer in rustic coffee plantations in Chilon, Chiapas, Mexico.

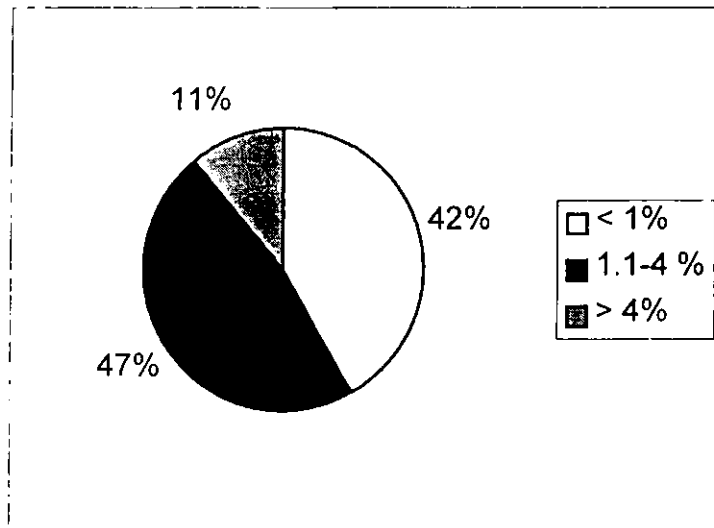
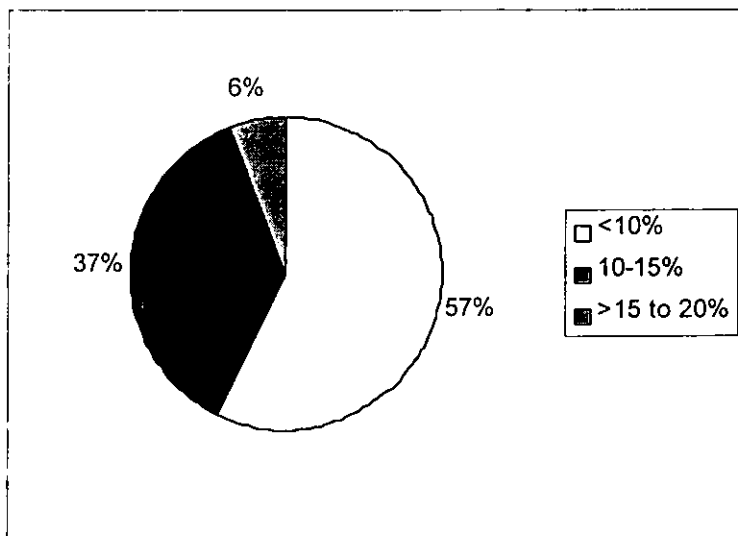


Figure 7. Distribution of incidence of coffee leaf rust in rustic coffee plantations in Chilon, Chiapas, Mexico.



predators which are abundant in rustic coffee plantations such as ants, spiders or birds (Ibarra, 1990; Perfecto et al., 1994,1996; Greenberg et al., 1997).

The idea that diverse and complex crop systems may support self-protective processes against pests, diseases and weeds has been discussed in relation to mechanisms involving associational resistance, presence of natural enemies, resource concentration and plant apparency (Root, 1973; Risch, 1981; Risch et al. 1983; Vandermeer, 1992; Trenbath, 1993). Increases in number of strata, shade plant species richness, diversity and tree density will be probably increasing complexity. It has been suggested by other authors (Zaher et al., 1985; Hodges et al., 1993) and for other agricultural systems that complex vegetation mosaic provide habitats for antagonistic organisms such as fungi, bacteria or protozoa, which may control pathogenic organisms. We suggest that these interactions can also occur in coffee systems where fungal organisms could be acting as controllers for coffee LR. Furthermore, several strata in coffee plantations could become a substrata diluter of fungal diseases as can be proposed from the resource concentration hypothesis by Root (1973). Several strata in cover plantations could also can act as a physical barrier for spore dispersal, mainly reducing wind speed, since it has been demonstrated that wind is the prime factor affecting spore transport (Mundt and Leonard, 1985; Aylor, 1990;Nagarajan and Singh, 1990).

Previous researchers have reported that shade can shift the weed flora from a Gramineous-dominated composition to a more broadleaf-equitable composition (Vernon, 1967; Beer, et al., 1998). Our results demonstrated that increases in shade species richness decreased herb cover; additionally, weed

management by farmers (two hand-weedings per year) along with shade vegetation (46.8% in average) promoted the presence of broad-leaf-herbs instead of Gramineaceous flora. This could be due to the increase in environmental heterogeneity caused by differential canopy structure and composition which promotes an environmental patchiness niche differentiation resulting in for spontaneous herbs which does not let the dominance of one or few groups of herbs.

In conventional agriculture weeds have been regarded as undesirable plants, although, in the Northern Tzeltal zone, some of them are used as food, medicine and fodder among other uses. This weed utilization represents a form of control.

The maintenance of biodiversity in traditional agroecosystems and traditional crop protection practices used by indigenous farmers could enhance the integrated pest management systems as has been stated by Altieri (1993).

It seems that rustic coffee retain a high capacity for resistance in terms of coffee leaf rust and spontaneous herbs. Their structural and management attributes perform a variety of renewal processes and ecological services applicable in pest, disease and weed management as was proposed by Altieri (1993) and Moguel & Toledo (1996).

The fact that these coffee stands do not require additional control for BB, LR and SH due to the their low incidence suggests that these growers could potentially be certified as organic producers to whose products demand in market is increasing (Puelschen & Lutzeyer, 1993). Furthermore, these producers could in

the future obtain shade coffee certification due to the structural complexity and diversity they maintain in the coffee agroecosystem.

## **5.6. Acknowledgements**

The authors are profoundly grateful for the participation of the producers from the Pajal Yak'actic organization, especially to the producers who supplied their plots for evaluation and their contribution of their valuable observations and experience. We also thank Manuel de Jesus Martinez and Juan Castillo Hernandez for their participation in the fieldwork. Counseling from Francisco Barrera Gaytan from ECOSUR, Robert Bye and Gerardo Segura from UNAM were invaluable. We thank very much Helda Morales and Bruce Ferguson for reviewing early drafts of this manuscript and to anonymous reviewers. This investigation was performed thanks to the financial support of El Colegio de la Frontera Sur and the CONABIO-McArthur Foundation (M018/97) to whom we are extremely grateful.

## **5.7. References**

- Altieri MA & DK Letorneau 1982 Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection*, 1: 405.
- Altieri MA 1993 Ethnoscience and biodiversity: key elements in the design of sustainable pest management systems for small farmers in developing countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 46: 257-272.



- Alvim P 1960 Physiology of growth and flowering in coffee. *Coffee* 2(6): 57-62.
- Anderson MC 1964 Studies of the woodland light climate. I. The photographic computation of light conditions. *Journal of Ecology* 52, 27-41.
- Avelino JRA, Muller C, Cilas H, Velasco P. 1991. Desarrollo y comportamiento de la roya anaranjada del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) en plantaciones en proceso de modernización, cultivadas con variedades de porte bajo en el sureste de México. *Café Cacao* Te 35 (1): 38-42.
- Aylor DE 1990 The role of intermittent wind in the dispersal of fungal pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 28:73-92.
- Baker PS 1984 Some aspects of the behavior of the coffee berry borer in relation to its control in southern Mexico (Coleoptera, Scolytidae). *Folia Entomologica Mexicana* 61:9-24.
- Barrera GJF, Covarrubias ML. Efecto de diferentes condiciones de sombra del cafetal sobre la intensidad del ataque de la broca del grano de café *Hypothenemus hampei* ferr. (Coleoptera: Scolytidae) en el Soconusco, Chiapas, México. El Colegio de la Frontera Sur. Unpublished Manuscript.
- Batistella SI, Paulini AE, Parra AD 1983 Informacoes preliminares sobre epoca de controle e flutuacao populacional da broca do café (*Hypothenemus hampei* Ferrari, 1867) e do bicho mineiro *Perileucoptera coffeella* Guérin-Men., 1842) para as regioes de Sinop e alta Floresta no Mato Grosso. In: Coangreso Brasileiro de Pesquisas Caffeeiras, 10. Anais Pocos de Caldas, 29 Aug. 1983. Rio de Janeiro, 1983, pp. 257-261.
- Beer J, Muschler R, Kass D and Somarriba E 1998 Shade management in coffee

- and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139-164.
- Bradshaw L and Lanini WT. 1995 Use of perennial cover crops to suppress weeds in Nicaraguan coffee orchards. *International Journal of Pest Management* 41 (4): 185-194.
- Brown JS, Whan JH, Kenny MK and Merriman PR 1995 The effect of coffee leaf rust on foliation and yield of coffee in Papua New Guinea. *Crop Protection* 14 (7):589-592.
- Comisión Nacional del Café de Nicaragua 1992 Estimación de cosecha en plantaciones de café en Nicaragua. In: Instituto Hondureño del Café (Comp.). Seminario-Taller Regional sobre Pronósticos de Cosechas de Café. Tegucigalpa, Honduras, pp. 54-77.
- Eskes AB 1982 The effect of light intensity on incomplete resistance of coffee to *Hemileia vastatrix*. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 88:191-202.
- FAO 2000 Agricultural Data bases on-line. <http://www.fao.org>
- Fonseca JP da 1939 A 'broca' e o combramento dos cafezais. *Biológico* 5: 133-136.
- Godínez MJ Caracterización del sistema agroforestal café orgánico bajo sombra en tres municipios de la Región Fronteriza del estado de Chiapas. Thesis, Universidad Autónoma de Chapingo. México. 104 p.
- Greenberg R, Bichier P and Sterling J 1997 Bird populations in rustic and planted shade coffee plantations of Eastern Chiapas, México. *Biotropica* 29(4):501-514.
- Hernández CH 1985 Valoración económica de los daños causados por

- Hypothenemus hampei* (broca de fruto) en granos de *Coffea canephora* var. 'robusta' en el municipio de Pro Vila Nova de Seles, Kuanza Sul RP. de Angola. Horticultural Abstracts 55(9):749.
- Hernández PM and Sánchez A 1978 La broca del fruto del café. Revista Cafetalera (Guatemala) No. 174: 11-26.
- Hodges CF, Campbell DA and Christians N 1993 Evaluation of *Streptomyces* for bio-control of *Bipolaris sorokiniana* and *Sclerotinia homoeocarpa* on the phylloplane of *Poa pratensis*. Journal of Phytopathology, 139: 103-109.
- Huerta HS 1954 La influencia de la intensidad de luz en la eficiencia asimilatoria y el crecimiento del cafeto. IICA, Costa Rica.
- Ibarra-Núñez G 1990 Los artrópodos asociados a cafetos en un cafetal mixto del Soconusco, Chiapas, México. Variedad y abundancia. Folia Entomologica Mexicana 79:207-231
- ICAFFE 1989 Manual de recomendaciones para el cultivo del café, 6a. ed. Programa Cooperativo Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE). Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), San José, Costa Rica.
- INEGI 1993 Anuario estadístico del estado de Chiapas. Instituto Nacional de Estadística e informática. Aguascalientes, México.
- Jarquín GR, Barrera JF, Nelson K and Martínez Quezada A 1997 Métodos no químicos contra la broca del café y su transferencia tecnológica en los Altos de Chiapas, Mexico. Agrocienca 33 (4): 431-438.
- Jiménez-Avila E 1979 Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero: I. Estructura de los cafetales de una finca en Coatepec, Ver. México. Biotica

(Mex.) 4(1):1-12.

Kass DC 1978 Polyculture cropping systems: review and analysis. Cornell Int. Agr.

Bull. No. 32. 69 p.

Kershaw KA 1973 Quantitative and dynamic plant ecology. Edward Arnold.

London. 308p.

Margalef DR 1958 Information theory in ecology. Gen. Syst. 3:36-71.

Moguel P and Toledo VM 1996 El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. Ciencias, 43: 40-51.

Moreno RA and Mora LE 1984 Cropping pattern and soil management influence on plant diseases. II. Bean rust epidemiology. Turrialba, 34:41-45.

Mundt CC and Leonard KJ 1985 A modification of Gregory's model for describing plant disease gradients. Phytopathology 75:930-35.

Muschler RG 1997 Efectos de la sombra de *Erythrina peoppigiana* sobre *Coffea arabica* Vars. Caturra y Catimor. In: Memorias del 18°. Simposio Latinoamericano de Cafecultura, September 1997. San José, Costa Rica, pp. 157-162.

Nagarajan S and Singh DV 1990 Long-distance dispersion of rust pathogens.

Annual Review of Phytopathology 28:139-53.

Nataraj T and Subramanian S 1975 Effect of shade and exposure on the incidence of brown-eye-spot of coffee. Indian Coffee 39: (6): 179-180.

Nestel D 1995 Coffee in Mexico: International market, agricultural landscape and ecology. Ecological Economics 15:165-178.

Perfecto I and Vandermeer H 1994 Understanding biodiversity loss in

agroecosystems: reduction of ant diversity resulting from transformation of the coffee ecosystem in Costa Rica. *Entomology (Trends in Agriculture)* 2: 7-13

Perfecto I, Rice R, Greenberg R, and van der Voort ME, 1996 Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46 (8): 598-608.

Perrin RM 1977 Pest management in multiple cropping systems. *Agroecosystems* 3:93-113.

Püelschen L and HJ Lutzeyer 1993 Ecological and economic conditions of organic coffee production in Latin America and Papua New Guinea. *Angewandte Botanik* 67 (5-6): 204-208.

Rheenen Van HA, Hasselbach OE and Muigai SGS 1981 The effect of growing beans together with maize on the incidence of bean diseases and pests. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 7:193-199.

Rhodes LF and Mansingh A 1986 Distribution of the coffee BB *Hypothenemus hampei* Ferr. In Jamaica, and an assessment of the chemical control program (1979-1982). *Insect Science and its Application* 7(4):505-510.

Risch SJ 1981 Insect herbivore abundance in tropical monocultures and polycultures: an experimental test of two hypotheses. *Ecology* 62:1325

Risch SJ, Andow D and Altieri MA 1983 Agroecosystem diversity and pest control: data, tentative conclusions, and new research directions. *Environmental Entomology* 12: 625-629.

Roberts DW 1986 Ordination on the basis of fuzzy set theory. *Vegetatio* 66: 123-131.

- Romero Y, Soto-Pinto L, García-Barrios LE and Barrera-Gaytán JF Shade type effect on coffee yields, soil nutrients and environmental temperature in Chiapas, Mexico. Submitted to *Agroforestry Systems*.
- Root RB 1973 Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecological Monographs* 43: 94-125.
- Soto-Pinto L, Perfecto I, Castillo J, Caballero-Nieto J 2000 Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 80: 61-69.
- Soto-Pinto L, Romero AY, Nieto JC, Warnholts SG Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee plantations in north Chiapas, Mexico. Submitted.
- SPSS for Windows release 8.0.8. Network version. SPSS Inc., 1989-1997.
- Steege H 1994 Hemiphot. A programme to analyze vegetation indices, light and light quality from hemispherical photographs. *Tropenbos Documents* 3. Wageningen, The Netherlands. 43 p.
- Steel RG and Torrie J 1985 *Bioestadística: principios y procedimientos*. McGraw Hill, Segunda Edición. México. 622 p.
- Trenbath BR 1993 Intercropping for the management of pests and diseases. *Field Crops Research* 34:381-405
- Vandermeer J 1992 Intercropping and agroforestry: a perspective from ecological theory. In: National Institute of Agro-Environmental Sciences (Ed.). *NIAES Series No. 1, Japan*. Pp. 205-224.

- Vernon AJ 1967 New development in cocoa shade studies in Ghana. *Journal of Science Food and Agriculture* 18: 44-48.
- Willey RW 1975 The use of shade in coffee, cocoa and tea. *Horticultural Abstracts* 45(12):791-798.
- Wringley G 1988 *Coffee*. Longman, New York, United States.
- Zaher E, Barakat FM, Osman R and El-Khaleely MI 1985 Antagonism between phyllosphere bacteria and actinomycetes and *Ulocladium botrytis* Preauss., causing tomato leaf spot. *Egyptian Journal of Phytopathology* 17: 15-22.

## Capítulo VI

# **Interacciones entre estructura de la vegetación, nutrimentos del suelo y análisis foliar en cafetales sombreados del norte de Chiapas, México**

Ma. Lorena Soto Pinto



## 6.1. Resumen

El presente estudio se llevó a cabo en tres localidades del norte de Chiapas, México. Tuvo la finalidad de identificar el efecto de la estructura de la sombra de cafetales rústicos sobre los nutrimentos del suelo y nutrimentos absorbidos en las hojas del café, así como determinar el efecto de los nutrimentos sobre la producción, y comparar las características del suelo y de la absorción en parcelas con diferente composición florística. Se establecieron 33 parcelas permanentes de muestreo en donde se realizaron inventarios forestales, análisis de suelos de 0 a 20 cm y análisis foliares en arbustos de café. Ninguna variable del suelo se correlacionó con los rendimientos de café. El P del suelo y P foliar se correlacionaron positivamente con Ca y Mg foliares, así como con el cociente Ca/K tanto del suelo como foliar. La absorción de Ca y Mg, así como el cociente Ca/K se correlacionaron positivamente con los rendimientos. El N del suelo y el N foliar no se correlacionaron con los rendimientos, mientras que la cantidad de materia orgánica del suelo se correlacionó negativamente con los rendimientos y tuvo un efecto negativo sobre el cociente Ca/K. El análisis de medias por grupo de composición florística indicó diferencias significativas determinadas por la presencia de *Inga* spp.; las parcelas con *Inga* tuvieron menos CIC, Mg, K y Ca en el suelo que las parcelas sin *Inga*, pero estas diferencias no se reflejaron en el cociente Ca/K, en la absorción de nutrimentos ni sobre los rendimientos de café.

Se sugiere que para la cafecultura sin insumos, con altas coberturas (45% en promedio) y altas densidades de árboles de sombra (336 arboles/ha) el fósforo es más limitante que el nitrógeno. La densidad de árboles de sombra y la riqueza

de especies limitaron la absorción de P, mientras que el área basal limitó la absorción de Mg.

**Palabras clave:** *Café, Coffea arabica*, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, *Inga*.

## 6.2. Introducción

El agroecosistema de café manejado bajo sombra tiene gran semejanza a la vegetación natural tropical. Esto se debe, principalmente, a que los productores establecen el arbusto de café en el estrato bajo, de selvas y bosques. En estudios anteriores se han descrito los cafetales sombreados, caracterizándolos como sistemas que presentan una compleja estructura de la vegetación de sombra (Moguel y Toledo, 1999; Escamilla 1993, Jiménez-Avila 1979). Soto-Pinto et al (sometido) han registrado que dentro de los cafetales de la región norte de Chiapas, están representadas por lo menos 40% de la vegetación leñosa original de bosques y selvas aledaños. A nivel mundial, el agroecosistema de café atraviesa por un proceso de intensificación que consiste en el aclareo de la vegetación natural de sombra para sustituirla por sombra monoespecífica, principalmente de especies leguminosas o para eliminarla permanentemente, dejando la plantación a pleno sol. Es bien sabido que las actividades de deforestación traen como consecuencia erosión del suelo y decremento de la fertilidad, lo cual puede resultar irreversible (Lal, 1996; Beer, 1998). Algunos experimentos a largo plazo indican la importancia de la cobertura vegetal y el uso del suelo sobre la escorrentía y el arrastre de sedimentos (Pereira, 1973; Blackie y

Edwards, 1979; Lal, 1984). Una erosión acelerada es también el principal factor responsable del decremento de la fertilidad y la productividad (Lal, 1996). Se ha comprobado que la escorrentía y la pérdida de suelo son menores en cafetales sombreados que en cafetales sin sombra (Bermudez, 1980; Wiersum, 1984; León, 1990).

Los árboles aportan cantidades significativas de hojarasca, las cuales ayudan a prevenir la erosión y a mantener la fertilidad de los suelos. Se ha estimado que los árboles de cafetales sombreados pueden aportar entre 5 mil y 10 mil kg/ha/año (Beer, 1988), valores que están dentro del rango estimado para bosques tropicales (Vitousek, 1984). Los ingresos por materia orgánica pueden estar correlacionados con la capacidad de intercambio de cationes y la reducción del riesgo por lixiviación (Nye y Greenland, 1960). Se ha comprobado la importancia de la hojarasca para mantener el reciclaje de N, P, K, Ca y Mg (Beer, 1988). La producción de hojarasca es de particular importancia, especialmente en suelos pobres con bajo contenido de materia orgánica, donde los árboles de sombra pueden mantener la productividad de sitio, especialmente aquellos que pueden proveer altas cantidades de hojarasca bajo regímenes de poda. Babbar y Zak (1994, 1995) encontraron tasas más altas de mineralización de N en plantaciones sombreadas con *Erythrina poeppigiana* en Costa Rica comparadas con plantaciones sin sombra. Romero-Alvarado et al. en México no encontraron diferencias en rendimientos y características del suelo entre plantaciones de café con sombra de *Inga* y sombra diversa. Los aportes de nutrimentos por la hojarasca dependen de las especies, el clima, las características del suelo y el manejo de la plantación, pero en general se puede decir que la descomposición y la dinámica

de la materia orgánica del suelo en sistemas agroforestales puede ser manipulada por medio del manejo de la vegetación para producir residuos orgánicos de cierta calidad y regular las condiciones del suelo (Szott et al. 1991).

La asociación agroforestal ofrece ventajas potenciales para el reciclaje de nutrimentos cuando se comparan con los monocultivos; las características de las especies que componen la sombra es de particular importancia (Beer, 1988, 1998; Nygren y Ramírez, 1995; Palm, 1995); sin embargo, hay pocos estudios sobre la influencia de la estructura y la composición florística de la sombra de cafetales rústicos sobre las características de los nutrimentos en el sistema de café.

Este estudio se realizó en comunidades del municipio de Chilón, en el estado de Chiapas, México, con el objetivo de identificar las interacciones entre variables de la estructura de la vegetación y composición florística de la sombra y variables nutricionales en cafetales rústicos de pequeños productores.

### **6.3. Materiales y Métodos**

#### **6.3.1. El área de estudio y selección de sitios de muestreo**

Las comunidades de Alan K'antajal, Muquenal y Cololteel del Mpio. de Chilón, están situadas en la zona subtropical, con clima semi-cálido húmedo (A)C(m) (García, 1988). Se encuentran dentro de un gradiente entre 800 a 1200m s.n.m, con una precipitación media anual, en la parte alta, de 1200 a 1500 mm; y en la parte media y baja de 2000 mm de precipitación, con régimen monzónico. La temperatura media anual es de 22° C. Los suelos son regosoles, algo pedregosos en algunas zonas. Los suelos arenosos (franco-arcillo-arenosos) son conocidos

por la población local como ji'ilum y los suelos arcillosos como chavec'lum. En general los suelos tienen una alta cantidad de materia orgánica, un pH promedio de 5.7 y una CIC de 22.3 meq/100 gr.

La vegetación típica en las partes altas es de bosque mesófilo de montaña (cloud forest) y en la parte media y baja es de selva mediana subperenifolia (tropical rain forest).

En un estudio anterior (Soto-pinto et al. sometido) se realizó una tipología de cafetales de pequeños productores basada en su composición florística, según un análisis de coordenadas principales. Todas las parcelas resultaron con diversa composición mostrando cuatro grupos diferentes por la presencia de especies de *Inga*: el primer grupo se caracterizó por la ausencia de especies de *Inga*; el segundo grupo por la presencia de *Inga pavoniana*; el tercer grupo por la presencia de *I. punctata*; y el último presentó ambas especies de *Inga*.

De estas parcelas se escogieron al azar 33 (7 del grupo 1; 6 del grupo 2; 15 del grupo 3 y 4 del grupo 4), en las cuales se marcaron cuadrados de 10m x 10m. En estas áreas de muestreo se llevaron a cabo las mediciones de estructura y composición de la vegetación, así como los muestreos de suelos y los muestreos para análisis foliares.

### **6.3.2. Mediciones de la estructura y composición del cafetal, características químicas del suelo y análisis foliar del cafeto.**

En cada parcela de muestreo se tomaron 20 submuestras de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm, las cuales fueron mezcladas para formar una muestra

compuesta. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio para obtener pH ( $H_2O$ ), cationes intercambiables, materia orgánica (Walkey-Black), Nitrógeno total, Fósforo extraíble (Olsen), Potasio, Calcio Magnesio, Sodio ( $NH_4Oac$  1NpH7), capacidad de intercambio de cationes y textura.

Se midió el contenido de nitrógeno de las hojas como un indicador del comportamiento fotosintético de las plantas (Reich et al., 1994; Kull et al., 1995). Para ello en cada parcela de muestreo (con promedio de 19 plantas de café), se tomaron al azar 5 plantas, de las cuales se tomó una muestra compuesta de 30 hojas, 10 en cada una de las partes alta, media y baja del arbusto de café. El material fue secado con aire caliente a una temperatura de  $60^{\circ}C$  hasta peso constante y analizado en el laboratorio para obtener Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio.

En cada parcela se registró también la densidad de cafetos, la pendiente y la exposición de las parcelas y se llevó a cabo un inventario forestal con las siguientes variables: 1) número de individuos de cada especie que componen la sombra del cafetal, separados en nueve clases diamétricas (1-10cm, 10.1-20cm; 20.1-30cm; 30.1-40cm; 40.1-50cm, 50.1-60cm; 60.1-70cm; 70.1-80cm y  $> 80$  cm de diámetro a la altura del pecho) y formas de vida (árbol, arbusto, palma, hierba alta); 2) número de estratos de la sombra del café, la altura y el diámetro a la altura del pecho de todos los individuos. Con esta información se obtuvieron la densidad, frecuencia, abundancia, área basal, riqueza de especies, equitabilidad e índice de diversidad (Müeller-Dombois y Ellenberg, 1974). La equitabilidad se obtuvo para cada parcela por medio del cociente que resulta de dividir el área basal de todos los individuos de la parcela entre el número total de especies.

El índice de diversidad fue obtenido con la siguiente fórmula (Whittaker, 1975):

$$d = S-1/\log N$$

en donde,

d = diversidad

S = riqueza de especies

N = densidad

Se tomaron fotografías hemisféricas en cada parcela (para la metodología ver Soto-Pinto, 2000). Para calcular la cobertura y la densidad de flujo de fotones bajo el dosel se utilizó el paquete computacional Hemiphot (Steege-Tropenbos, 1996).

### **6.3.3. Análisis estadístico**

Se realizaron análisis de correlación bivariada para conocer la asociación entre las variables de la estructura de la vegetación, variables del suelo y del análisis foliar, así como regresiones por medio del Stepwise Regression y General Linear Models para conocer la forma del comportamiento entre variables cuando la correlación entre ellas fue significativa (SAS, 1989).

Se realizaron análisis de varianza y pruebas de medias de Duncan para comparar las variables del suelo y contenidos de N, P, K, Ca y Mg foliares entre los cuatro grupos de composición florística (Steel y Torrie, 1985). Para el análisis se utilizó el paquete SPSS 8.0.8 (1997).

#### 6.4. Resultados

En la Tabla 1 se presentan las características de los suelos y del análisis foliar de nutrimentos de los cafetos para las 33 parcelas estudiadas. Se encontraron correlaciones significativas entre variables del suelo, nutrimentos en hojas, variables de la estructura de la vegetación y la producción de café (Tabla 2).

El nitrógeno (N) en hoja se correlacionó negativamente con la cobertura de la vegetación así como con potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) del suelo, pero no se correlacionó con los rendimientos de café. Los rendimientos se correlacionaron positivamente con el fósforo (P) (Figura 1), el Ca y Mg en hoja (Figura 2), así como con el cociente Ca/K, tanto en hoja como en suelo. Los rendimientos correlacionaron negativamente con el K en hoja ( $p < 0.05$ ; Figura 2). El P, K, Ca y Mg en el suelo se correlacionaron positivamente con la absorción de K, Ca y Mg en hojas ( $p < 0.05$ ; Figuras 3, 4, 5 y 6). El P del suelo se correlacionó positivamente con el cociente Ca/K. La correlación entre los rendimientos y la cobertura de la vegetación fue descrita por Soto-Pinto et al. (2000).

La materia orgánica se correlacionó positivamente con el K en hoja, pero negativamente con el Mg absorbido. La materia orgánica también correlacionó positivamente con el N total y K del suelo, con la capacidad de intercambio de cationes (CIC) y correlacionó negativamente con Ca y Mg en hoja, así como con los cocientes Ca/K y Mg/K y con los rendimientos de café ( $p < 0.05$ ).

El 27% de las parcelas estudiadas tuvieron pH menores a 5.5. Comparando entre parcelas con  $< 5.5$  y  $> 5.5$  de pH, la prueba de T de Student arrojó diferencias en cuanto a CIC, P extraíble, Ca y Mg del suelo, no hubo diferencias en cuanto a absorción de nutrimentos ni rendimientos ( $p > 0.05$ ).



Tabla 1. Características químicas del suelo y análisis foliar de cafetos en cafetales con sombra del norte de Chiapas, México.

Variables medidas	Media de 33 parcelas	Mínima	Máxima	D.E.
<b>SUELO</b>				
pH	5.7	4.8	6.8	0.48
Materia orgánica (%)	7.1	3.9	13.8	2.38
CIC (meq/100 gr)	22.4	12.0	45.4	7.99
Nitrógeno (%)	0.3	0.2	0.6	0.09
Fósforo (ppm)	6.2	4.0	12.0	1.96
Potasio (meq/100 gr)	0.3	0.1	1.2	0.2
Calcio (meq/100 gr)	12.9	3.7	37.4	6.85
Magnesio (meq/100 gr)	5.4	0.5	13.7	3.93
<b>HOJAS DE CAFETO</b>				
Nitrógeno (%)	2.4	2.0	2.8	0.16
Fósforo (%)	0.1	0.08	0.2	0.02
Potasio (%)	1.8	0.7	3.0	0.52
Calcio (%)	1.5	0.8	2.5	0.34
Magnesio (%)	1.2	0.4	2.5	0.56
D.E. desviación estándar				

Tabla 2. Correlación entre variables de la estructura de la sombra, variables químicas del suelo y análisis foliar, en cafetales sombreados del norte de Chiapas, México.

Coefficientes de correlación de Pearson/Prob >[R] bajo Ho:Rho=0 / N=33.

	N en hoja	P en hoja	K en hoja	Ca en hoja	Mg en hoja	Rendimiento de café
pH	-0.20/0.26	-0.19/0.27	-0.27/0.12	0.32/0.06	0.22/0.21	0.07/0.67
MO	-0.17/0.33	-0.23/0.19	0.42/0.01*	-0.17/0.33	-0.35/0.04*	-0.43/0.01**
N en suelo	-0.08/0.61	-0.04/0.82	0.31/0.07	-0.08/0.63	-0.20/0.26	-0.30/0.08
P en suelo	-0.30/0.08	-0.14/0.41	-0.37/0.03*	0.36/0.03*	0.42/0.01*	0.69/0.0001**
K en suelo	-0.36/0.03*	-0.29/0.09	0.41/0.01*	-0.05/0.76	-0.43/0.01*	-0.02/0.9
Ca en suelo	-0.45/0.008**	-0.16/0.36	-0.41/0.01*	0.37/0.02*	0.34/0.05*	0.62/0.0001***
Mg en suelo	-0.37/0.03*	-0.10/0.55	-0.49/0.003**	0.37/0.03*	0.39/0.02*	0.20/0.24
CIC	-0.37/0.03	-0.14/0.41	-0.03/0.85	0.26/0.14	0.02/0.89	-0.03/0.86
Densidad de arboles	-0.26/0.14	-0.34/0.04*	0.05/0.74	-0.10/0.56	-0.24/0.16	0.02/0.88
Indice de Diversidad	-0.15/0.38	-0.17/0.34	-0.09/0.59	-0.19/0.28	-0.18/0.31	-0.07/0.69
Riqueza en 100m <sup>2</sup>	-0.25/0.15	-0.34/0.04*	0.06/0.70	-0.12/0.48	-0.25/0.15	-0.24/0.16
Area basal	0.08/0.64	-0.12/0.49	0.39/0.02*	-0.08/0.63	-0.40/0.01*	-0.14/0.41
Equitabilidad	0.04/0.82	0.02/0.88	0.37/0.03*	-0.01/0.94	-0.33/0.05*	-0.13/0.45
Luz total bajo el dosel	0.24/0.16	-0.21/0.22	0.33/0.05*	-0.00/0.99	-0.11/0.53	0.2/0.25
Cobertura	-0.33/0.05*	-0.03/0.87	-0.19/0.3	-0.12/0.51	0.09/0.63	-0.34/0.05*
Rendimientos de café	0.25/0.15	0.43/0.01*	-0.36/0.03*	0.51/0.002**	0.48/0.003**	1.00/0.0

La densidad y la riqueza de árboles de sombra se correlacionaron negativamente con el P foliar ( $p < 0.05$ ). El área basal de los árboles de sombra correlacionó positivamente con el K foliar, pero negativamente con el Mg foliar ( $p = 0.01$ ). El volumen de los árboles correlacionó positivamente con el K foliar, K del suelo y N del suelo ( $p < 0.05$ ). La luz total bajo el dosel no correlacionó con ninguna variable estudiada ( $P > 0.05$ ).

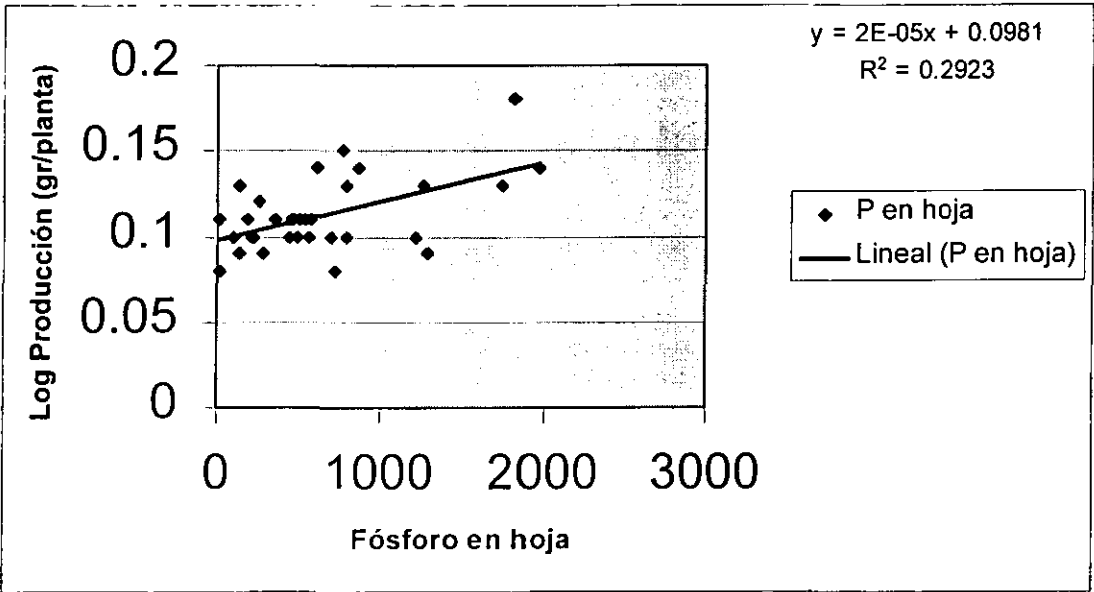


Figura 1. Relación entre fósforo absorbido y rendimientos de grano de café en cafetales con sombra del norte de Chiapas, México.

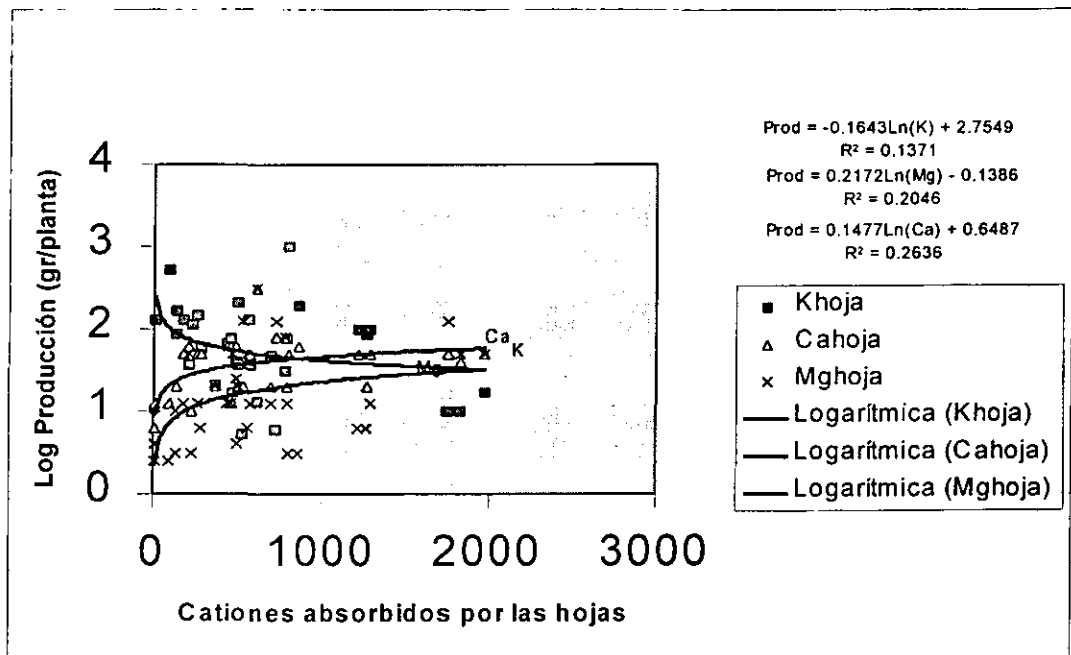


Figura 2. Relación entre potasio, calcio y magnesio absorbidos y los rendimientos de grano de café en cafetales con sombra del Norte de Chiapas, México.

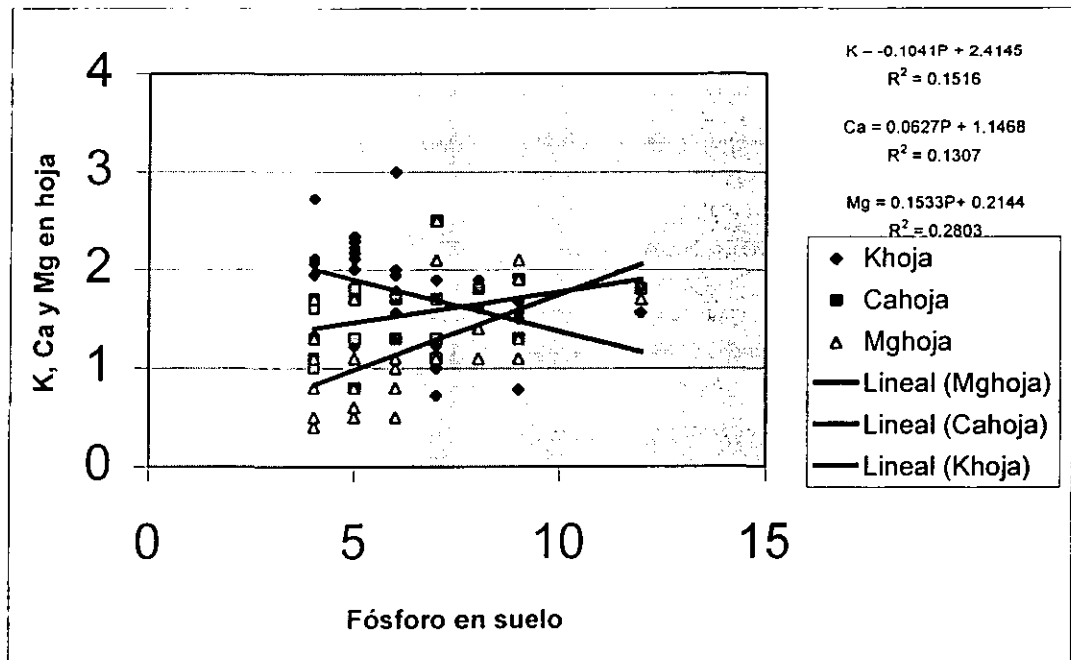


Figura 3. Relación entre el fósforo del suelo y el potasio, calcio y magnesio en hojas en cafetales con sombra del norte de Chiapas, México.

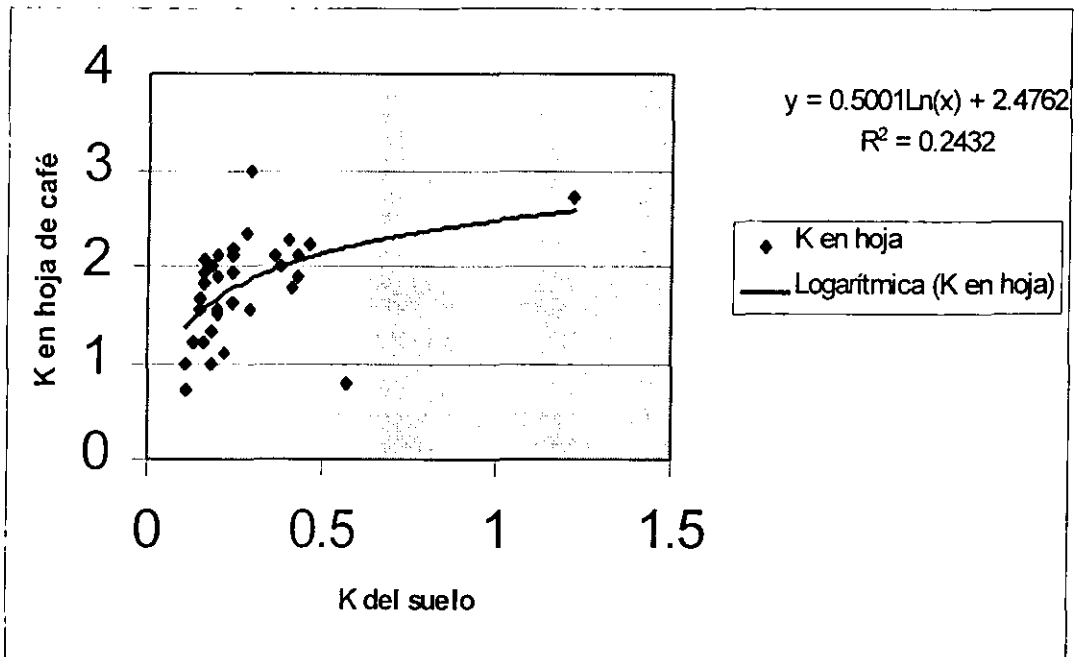


Figura 4. Relación entre el potasio del suelo y el potasio absorbido por la planta de café en cafetales con sombra del norte de Chiapas, México.

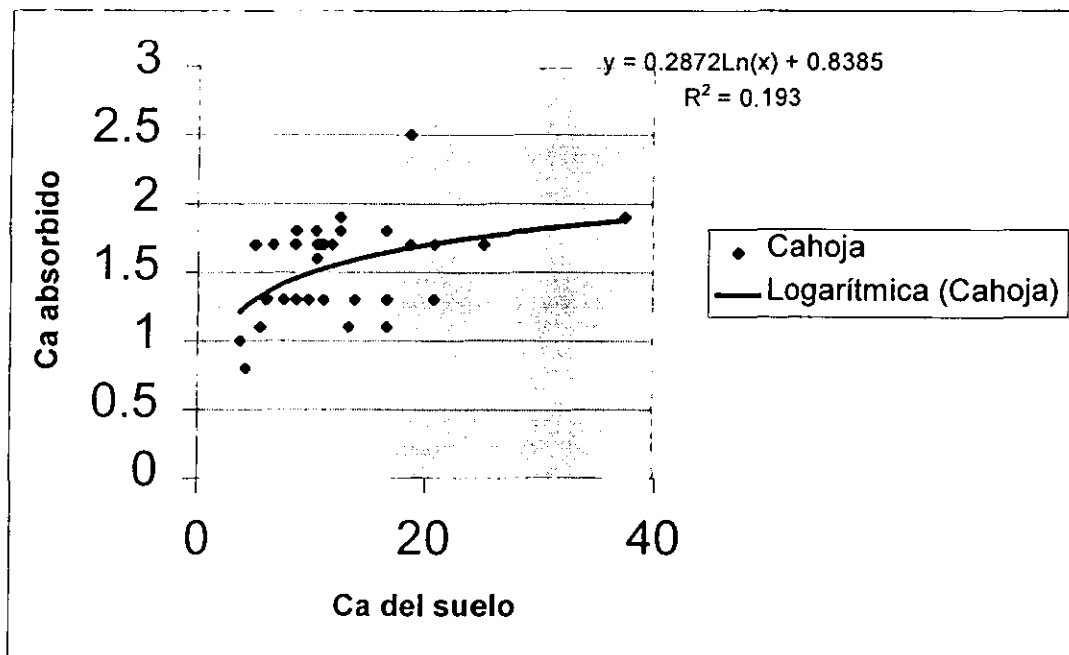


Figura 5. Relación entre el calcio del suelo y el calcio absorbido por la planta de café en cafetales con sombra del norte de Chiapas, México.

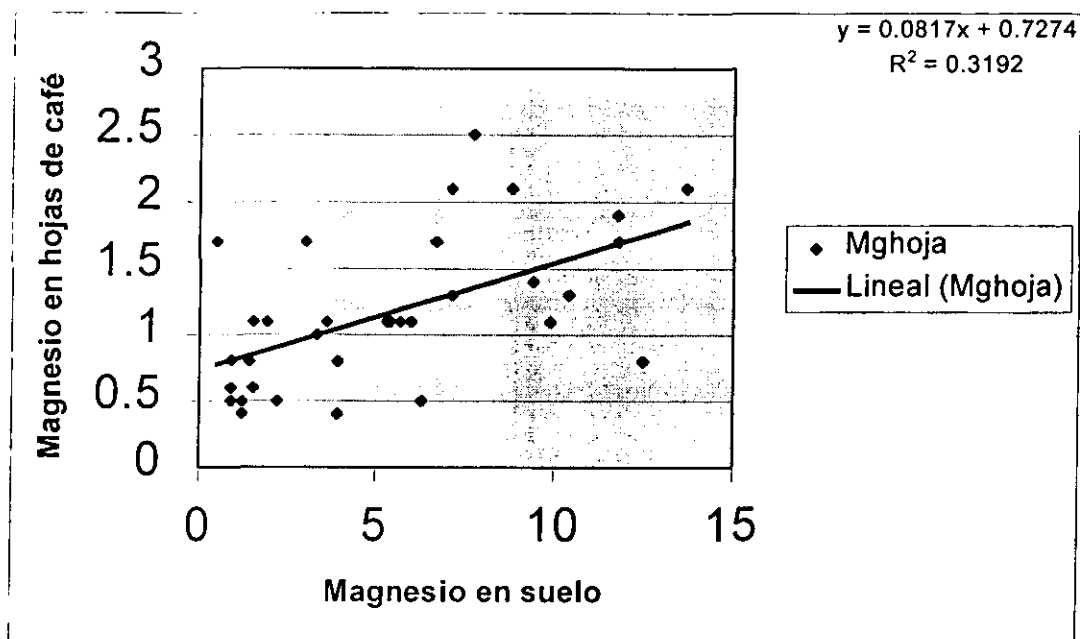


Figura 6. Relación del magnesio en suelo y el magnesio absorbido por la planta de café en cafetales con sombra del norte de Chiapas, México.

Se encontraron diferencias en cuanto a las variables del suelo entre parcelas con diferente composición florística ( $p < 0.05$ ), pero no hubo diferencias en cuanto a la estructura de la vegetación de sombra, absorción de nutrimentos, ni rendimientos ( $p > 0.05$ ). El análisis de varianza para las variables del suelo entre grupos de composición florística presentó diferencias para la CIC ( $p < 0.01$ ;  $r^2 = 0.4$ ), el Ca ( $p < 0.01$ ;  $r^2 = 0.29$ ) y el K del suelo ( $p < 0.05$ ;  $r^2 = 0.25$ ). El análisis de medias reveló que el grupo 1 sin la presencia de *Inga* presentó mayor CIC que el grupo 4 con ambas especies de *Inga* (Figura 7). El grupo sin *Inga* presentó también mayor CIC, Ca y K en el suelo que aquellos con *Inga* (Figuras 7 y 8).

Las especies con mayor valor de importancia en las parcelas agrupadas por composición florística según el Análisis de Coordenadas Principales y basado en el índice de similitud de Jaccard se presentan en la Tabla 3.

El rendimiento de café promedio por planta fue 835.8 gr. de café pergamino por planta, el cual, multiplicado por la densidad promedio de cafetos (1927 plantas/ha), da un rendimiento potencial de 1610.6 kg de café pergamino por hectárea.

## 6.5. Discusión

Los suelos de los cafetales estudiados parecen tener un buen nivel de nutrimentos para la producción de café, comparándolos con datos de otras regiones (Sánchez, 1981; Beer et al., 1990; Babbar, 1994; Altamirano, 1998) y no parecen estar limitando directamente la producción de grano, ninguna de las variables del suelo correlacionó con los rendimientos de café. Sin embargo, los niveles de nutrimentos en el suelo correlacionaron con los nutrimentos absorbidos por el cafeto, los cuales, a su vez, correlacionaron positivamente con los rendimientos. Este fue el caso de P, Ca y Mg.

Los nutrimentos absorbidos por las hojas de café, según datos previos (Altamirano, 1998) se encuentran entre marginales y altos. N, P y K son marginales, mientras que Ca y Mg son altos. No obstante que el Ca es alto, la relación Ca/K, que correlacionó positivamente con los rendimientos, es baja.

El hecho de que el fósforo en el suelo se relacione con la absorción de nutrimentos en las hojas y que correlacione positivamente con el cociente Ca/K

permite suponer que el P es limitante en este sistema productivo, lo que coincide con lo expuesto por otros autores para el trópico (Sánchez y Salinas, 1981; Sánchez y Logan, 1992; Fairhurst et al, 1999), particularmente en cafetales con sombra y sin adición de insumos, como es practicada la mayor parte de la cafecultura regional. La limitante por fósforo es posible debido a un efecto de interferencia entre los árboles de sombra y el cultivo, como lo demuestra el efecto negativo de la densidad de árboles de sombra sobre su absorción. De esta manera, se puede suponer que incrementos en P del suelo o una ligera reducción en la densidad de árboles de sombra podrían balancear el cociente Ca/K, y la absorción tanto de P como de Mg. De ahí que, la absorción de P pareciera ser la variable que potenciaría la producción de café.

Por su parte el N total en el suelo fue de 0.34%, lo cual según la literatura es bajo para la producción de café (Altamirano, 1998); sin embargo, los resultados no mostraron correlación significativa entre esta variable y la absorción de nutrimentos en las hojas, como tampoco con los rendimientos.

K, Ca y Mg en el suelo se correlacionaron con N en hoja, lo cual implica que la cantidad de estos cationes en el suelo limita la fotosíntesis, tomando en cuenta que el N en hoja es un indicador del comportamiento fotosintético de la planta (Reich et al., 1994; Kull et al., 1995).

Por otro lado, no obstante que incrementos en materia orgánica aumentaron CIC, N total, K del suelo y K absorbido, la materia orgánica se correlacionó negativamente con la absorción de magnesio y rendimientos. El mantenimiento de la materia orgánica es muy importante, ya que mantiene la CIC, previniendo así las pérdidas de nutrimentos por lixiviación, como se ha



comprobado en otros estudios (Beer, 1988). Sin embargo, la calidad de la materia orgánica parece estar reduciendo el cociente Ca/K, bajando los rendimientos. Se requiere mayor investigación sobre estas interacciones y sobre la calidad de la materia orgánica, cuya importancia ha sido enfatizada por otros autores (Szott et al., 1991; Palm, et al, 1999), ya que de esto depende la sinergia entre componentes para lograr un sistema sostenible.

Aun cuando por su composición florística las parcelas no tuvieron diferencias en rendimientos ni en absorción de nutrimentos, las parcelas con *Inga* presentaron menores cantidades de CIC, K, Ca y Mg en suelo. Al igual que en este estudio, Romero-Alvarado y colaboradores, también en el norte de Chiapas, México, no encontraron diferencias en las características del suelo y tampoco en rendimientos cuando compararon cafetales con sombra de *Inga* y sombra rústica. Es posible que *Inga* esté compitiendo por fósforo y bases intercambiables con el cultivo como un costo por la fijación simbiótica como ha señalado anteriormente Sprent para fósforo (1999).

Estos resultados sustentan la idea de mantener una sombra diversa en lugar de cambiarla por una sombra dominada por una o pocas especies de *Inga*, ya que no se ha observado una mejor calidad de la materia orgánica de esta leguminosa, como tampoco mejores rendimientos de café, mientras que la sombra diversa puede ofrecer múltiples beneficios, como ha sido discutido previamente (Soto-Pinto et al, 2000 y sometido).

Se podrían esperar incrementos en los nutrimentos absorbidos por los cafetos y en rendimientos de café, con el balance en la relación Ca/K, así como con incrementos en la absorción de fósforo, lo cual podría lograrse con el manejo

de la estructura y composición de la sombra. Se requiere más investigación concerniente a métodos alternativos para adicionar materia orgánica con calidad suficiente para cambiar formas de P no disponibles a formas disponibles o mover el fósforo de áreas no utilizables por el cultivo a zonas más accesibles (Gachengo et al. 1998; Timothy, et al., 1999).

El sistema de café es conservativo de los recursos del suelo, extrae pocas cantidades de nutrimentos al exterior y mantiene las condiciones de fertilidad del suelo. Se han estimado las cantidades de nutrimentos extraídos por cultivos tropicales, y se ha encontrado que, las plantas de café, extraen cantidades bajas de nutrimentos del sistema, en comparación con otros cultivos (Sánchez, 1981). El café, con una producción de 1 ton/ha extrae 25 kg/ha de N; 1.7 kg/ha de P; 16 kg/ha de K; 1 kg/ha de Ca y 2 kg/ha de Mg, en comparación con el maíz, que con rendimientos de 1 ton/ha extrae 25, 6, 15, 3 y 2 kg/ha de los mismos nutrimentos, respectivamente (Sánchez, 1981).

Los rendimientos promedio pueden considerarse aceptables, considerando que son cafetales manejados con alta cobertura (promedio 45%), altas densidades de árboles de sombra (336 árboles/ha), bajas densidades de arbustos de café (1900 arbustos/ha) y sin aplicación de insumos. Además los cafetales de esta región ofrecen múltiple servicios y productos adicionales que permiten a los agricultores mantener integrado el sistema de café al resto de actividades de su unidad productiva campesina.

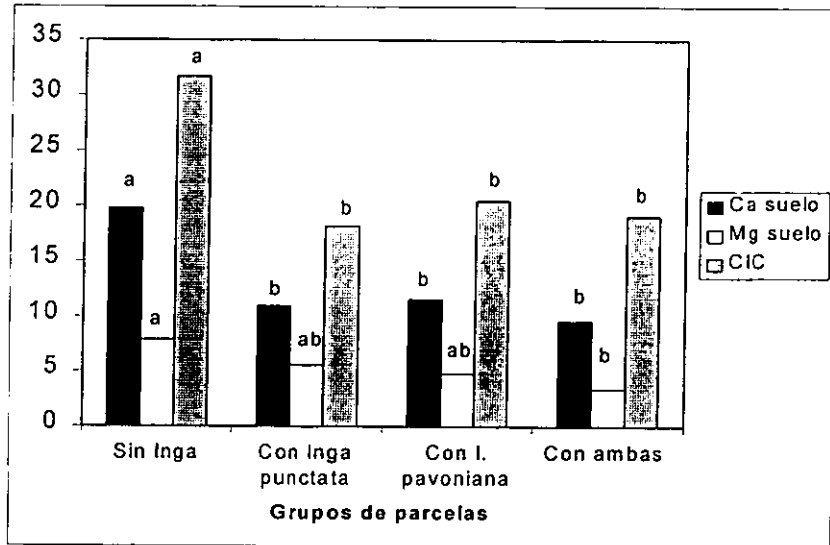


Figura 7. Comparación de medias mediante la Prueba de Rango Múltiple de Duncan para las variables Calcio, Magnesio y CIC del suelo entre grupos de parcelas por composición florística en cafetales con sombra del norte de Chiapas.

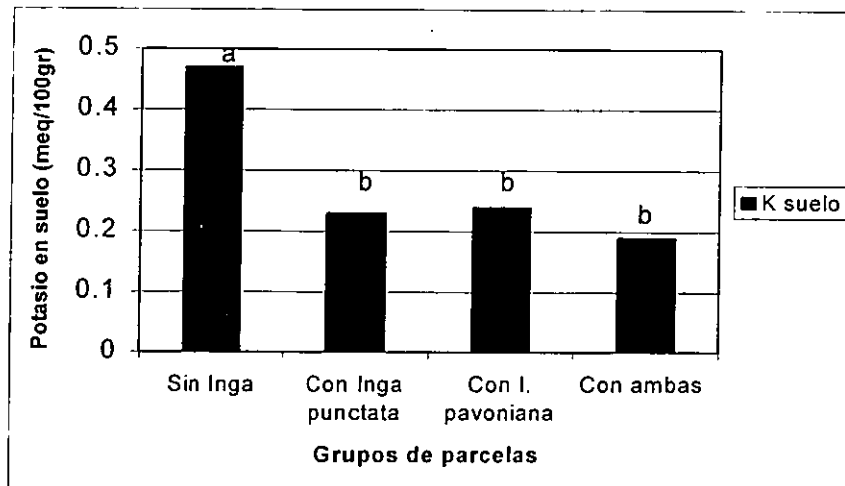


Figura 8. Comparación de medias mediante la Prueba de Rango Múltiple de Duncan para la variable Potasio del suelo entre grupos de parcelas por composición florística en cafetales con sombra del norte de Chiapas.

Tabla 3. Especies con mayor valor de importancia (Müller-Dumbois y Elleberg, 1974) en parcelas agrupadas según el Análisis de Coordenadas Principales basado en el índice de similitud de Jaccard, en cafetales sombreados del norte de Chiapas, México.

Grupo de parcelas	Especies más importantes	Valor de Importancia
1. Con diversas especies, sin <i>Inga</i> spp.	<i>Theobroma cacao</i> L.	300
	<i>Calocarpum zapota</i> Merr.	200
	<i>Tithonia rotundifolia</i> (Miller) Blake	183
	<i>Musa sapientum</i> L.	169
	<i>Cupania dentata</i> D.C.	155
	<i>Chamaedorea cataractarum</i> Liebm.	119
2. Con <i>Inga punctata</i>	<i>Chamaedorea cataractarum</i> Liebm.	159
	<i>Inga punctata</i> Willd.	136
	<i>Piper auritum</i> Kunth.	104
	<i>Citrus sinensis</i> Osb.	103
3. Con <i>Inga pavoniana</i>	<i>Inga pavoniana</i> Donn.	183
	<i>Belotia mexicana</i> Schum.	164
	<i>Bursera simaruba</i> (L.) S.	109
	<i>Zanthoxilum aff. microcarpum</i> Griseb.	81
4. Con ambas especies de <i>Inga</i>	<i>Inga puctata</i>	155
	<i>Lippia myriocephala</i> Slech. & Cham.	109
	<i>Astrocharium mexicanum</i> Liebm.	103.6
	<i>Lonchocarpus</i> sp.	76
	<i>Inga pavoniana</i>	66.5

## 6.6. Agradecimientos

Agradecemos ampliamente a los productores de la Unión Pajal Yak'actic-Chilón por su interés en esta investigación, especialmente a aquellos en cuyas parcelas se realizaron las evaluaciones. Agradezco la ayuda de Manuel de Jesús Martínez Gómez y Juan Castillo Hernández por su colaboración en el trabajo de campo. Al Laboratorio del Colegio de Postgraduados (México) por los análisis de suelos y foliares. Esta investigación fue posible gracias al financiamiento de El colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) y CONABIO-McArthur Foundation (M018797). Donald Kass, John Beer y Alejandro Casas hicieron comentarios muy valiosos a borradores iniciales de este artículo.

## 6.7. Referencias

- Altamirano, B. J. L. 1998. Evaluación integral del sistema policultivo café-plátano-macadamia en el Municipio de Chocamán, Veracruz. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México.
- Altieri, M.A. 1993. Ethnoscience and biodiversity: key elements in the design of sustainable pest management systems for small farmers in developing countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 46: 257-272.
- Babbar, L.I. y D.R. Zak. 1995. Nitrogen loss from coffee agroecosystems in Costa Rica. Leaching and denitrification in the presence and absence of shade trees. *Journal of Environmental Quality*. 24: 227-233.

- Babbar, L.I. y D.R. Zak. 1994. Nitrogen cycling in coffee agroecosystems: net N mineralization and nitrification in the presence and absence of shade trees. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 48:107-113.
- Beer, J. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* 7:103-114.
- Beer, J., A. Bonnemann, W. Chavez, H. W. Fassbender, A.C. Imbach y I. Martel. 1990. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) or poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. *Agroforestry Systems* 12:229-249.
- Beer, J., R. Muschler, D. Kass y E. Somarriba. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164.
- Bermudez, M.M. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema de café (*Coffea arabica* L., poró (*Erythrina poeppigiana* Walper O.F. Cook) en Turrialba, Costa Rica. MSc. Thesis. CATIE-UCR, Turrialba, Costa Rica.
- Blackie, J.R. y K.A. Edwards. 1979. General conclusions from land use experiments in East Africa, *East Africa Agriculture & Forestry Journal* (special issue), 271-277.
- Escamilla, E. 1993. El café cereza en México: tecnología de la producción. Universidad Autónoma de Chapingo, 116 p.
- Fairhurst, T., R. Lefroy, E. Mutert y N. Batjes. 1999. The importance, distribution and causes of phosphorus deficiency as a constraint to crop production in the tropics. *Agroforestry Forum* 9(4): 2-8.

- Gachengo, C.N., C.A. Palm, B. Jama y O. Othierno. 1998. *Tithonia* and *Senna* green manures and inorganic fertilizers as phosphorus sources for maize in Western Kenya. *Agroforestry Systems*, 44:21-36.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México, 217p.
- Jiménez-Avila, E. y V. P. Martínez. 1979. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero. II. Producción de materia orgánica en diferentes tipos de estructura. *Biótica*, 4, 109-126.
- Kull, O., A. Aan y T. Sõelsepp. 1995. Light interception, nitrogen and leaf mass distribution in a multilayer plant community. *Functional Ecology* 9:589-595.
- Lal, R. 1984. Soil erosion from tropical arable lands and its control. *Advances in Agronomy*, 37: 183-188.
- Lal, R. 1996. Deforestation and land-use effects on soil degradation and rehabilitation in Western Nigeria. III. Runoff, soil erosion and nutrient loss. *Land Degradation and Development* 7:99-119.
- León, R.A. 1990. Determinación de la hidroerosión laminar, utilizando varillas metálicas asociadas a parcelas de escorrentía, La Suiza, Cuenca del Río Tuis, Costa Rica, MS Thesis. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Moguel, P. y V.M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology*, 13(1):1-11.
- Mueller-Dumbois, D. y H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley and Sons. Nueva York. 547 p.
- Nye, P.H. y P.J. Greenland. 1960. The soil under shifting cultivation. Farnham Royal/England. *Commonw Agric Bur Tech Commun No. 51*. 156 p.

- Nygren, P. y C. Ramírez. 1995. Production and turnover of N<sub>2</sub> fixing nodules to foliage development in prediodically pruned *Erythrina poeppigiana* (Leguminosae) trees. For. Ecol. Man. 73: 59-73.
- Palm, C., G. Nziguheba, C. Gachengo, E. Gacheru y M.R. Rao. 1999. Organic materials as sources of phosphorus. Agroforestry Forum 9 (4): 30-33.
- Palm, CA. 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. Agroforestry Systems 30:105-124.
- Pereira, H.C. 1973. Land use and water resources in temperate and tropical climates. Cambridge University Press, Cambridge,.
- Reich, P.B., M.B. Walters, D.S. Ellsworth y C. Uhl. 1994. Photosynthesis-nitrogen relations in Amazonian tree species. Oecologia, 97:62-72.
- Romero-Alvarado, Y., L. Soto-Pinto, L. García-Barrios, J.F. Barrera-Gaytán. Shade type effect on coffee yields, soil nutrients and environmental temperature in Chiapas, México. Sometido.
- Sánchez, P. A. 1981. Suelos del trópico húmedo. Características y manejo. Instituto Interamericano de cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica.
- Sánchez, P.A. y J.G. Salinas. 1981. Low input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. Advances in Agronomy 34: 280-406.
- Sánchez, P.A. y T. J. Logan. 1992. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: Lal, R. y P.A. Sanchez (Eds.). Myths and Science of soils of the tropics. SSSA Special Publication 29, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, pp. 35-46.



- SAS Institute Inc., 1989. SAS/STAT User's Guide, Version 6, Fourth Edition, Cary NC: SAS Institute Inc. 2 Vols.
- Soto-Pinto, L., I. Perfecto, J. Castillo-Hernández, J. Caballero-Nieto. 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 80: 61-69.
- Soto-Pinto, L., Y. Romero-Alvarado, J. Caballero-Nieto, G. Segura-Wharnoltz. Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee plantations in north Chiapas, Mexico. *Sometido*.
- Sprent, J.I. 1999. Not all nitrogen-fixing legumes have a high requirement for phosphorus. *Agroforestry Forum* 9(4): 17-20
- SPSS for Windows release 8.0.8. Network version. SPSS Inc., 1997.
- Steege, H., 1996. Hemiphot, Steege-Tropenbos. University of Wageningen. Holanda.
- Steel, R. G. y J. Torrie. 1985. *Biostatística: principios y procedimientos*. McGraw Hill, Segunda Edición, Mexico, D.F.
- Szott, L.T., E. C. Fernández y P. A. Sánchez. 1991. Soil-plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 45:127-152.
- Timothy, S. G., P. J. Gregory, J. S. Robinson, R. J. Buresh y Bashir Jama. 1999. *Tithonia diversifolia* in western Kenya: relationship of tissue phosphorus concentration to soil phosphorus. *Agroforestry Forum* 9(4): 33-37.
- Vitousek, P.M. 1984. Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology* 65(1): 285-298.
- Whittaker, R.H. 1975. *Communities and ecosystems*. MacMillan. Nueva York. 385 p.

Wiersum KF. 1984. Surface erosion under various tropical agroforestry systems. In:  
O'Loughlin CL and Pearce AJ (eds) Symposium on Effects of Forest Land  
Use on Erosion Control and Slope Stability, pp. 231-239. East-West Center,  
Honolulu, EE.UU.

## Capítulo VII

# **Discusión general**

## **VII. Discusión general**

### **7.1. Importancia del café de sombra en México**

Es bien conocido el importante papel que juega el café como producto agrícola de exportación para el país. México es el cuarto país productor de este grano y, dentro de México, Chiapas ocupa el primer lugar en producción. En México el café se cultiva principalmente bajo sombra, por pequeños productores campesinos, la mayoría de ellos indígenas quienes poseen menos de 5 hectáreas de tierra (Moguel y Toledo, 1996).

Aunque el destino final del café es el mercado, la lógica de producción de este sistema está marcada por la economía campesina y la persistencia de prácticas agrícolas tradicionales (Hernández, 1996). Sin embargo, los sistemas de producción campesinos son complejos, dinámicos y diversos, y el concepto tradicional no debe necesariamente sugerir situaciones estáticas o anacrónicas, fundamentalmente distintas de lo que subjetivamente se denomina moderno (García-Barrios y García-Barrios, 1992).

Los cafetales, no obstante que son sistemas introducidos, han sido adaptados a las condiciones ambientales, económicas y sociales de los productores de Latinoamérica. La planta de café se adaptó al ambiente Latinoamericano pues este sistema compartía características ambientales con el sistema en África, incluso características biológicas, ya que en los cafetales con sombra rústica pueden observarse los mismos géneros de especies de sombra de los cafetales antiguos de África (Sylvain, 1958). Como planta introducida el café encontró condiciones ideales para su distribución en América. Por mucho tiempo

el café estuvo alejado de sus plagas, enfermedades y competidores naturales lo cual le permitió tener un éxito excepcional en nuevas tierras.

En México, inicialmente este cultivo perteneció a las clases acomodadas, a finqueros y grandes propietarios especializados en su producción, en su mayoría extranjeros, pero más adelante fue siendo objeto de cultivo de pequeños propietarios y campesinos indígenas que adoptaron la planta como parte de un proceso de ensayo y error. En las unidades campesinas, al principio la planta de café constituyó parte del solar o huerto familiar, como una planta para el autoabasto de la bebida estimulante, como curiosidad y como planta ornamental, pero sobre todo, como parte del proceso de ensayo y error que realizan los productores campesinos en busca de alternativas productivas.

Así, el café se engranó con el resto de sistemas productivos de los campesinos mexicanos. Se constituyó poco a poco en un sistema productivo independiente del resto de los sistemas, pero una parte más del conjunto de sistemas que maneja la unidad doméstica, la cual alcanzó un funcionamiento más complejo que, hoy, da la oportunidad al productor de combinar al mismo tiempo la obtención de ingresos económicos y el autoabasto. El nivel de mercado que alcanzan estos productores depende de las políticas institucionales, la cantidad de tierra destinada a la producción de café, a la productividad de la tierra, los precios del mercado y la organización social. El café en México se ha convertido en uno de los pocos productos agrícolas que generan ingresos monetarios al mismo tiempo que ofrecen productos y servicios para la familia campesina, convirtiéndose en parte de su estrategia de sobrevivencia.

Así pues, la expansión de la producción cafetalera campesina se explica

por el papel que este producto juega en la reproducción de la economía campesina. Al ser México un país con una producción eminentemente de pequeños productores y en donde se requieren empleos, la producción de café es una clave para el éxito, como lo afirma Hernández (1996).

## **7.2. El sistema de café y la biodiversidad**

En México el café se produce principalmente en las vertientes de las cadenas montañosas del centro y sur del país; las áreas cafetaleras coinciden con regiones muy ricas y diversas en flora y fauna (Moguel y Toledo, 1996). Chiapas es un área de enorme valor biológico y por lo tanto de prioridad en cuanto a la conservación de la biodiversidad, dado que allí se localizan importantes relictos de vegetación tropical y con una gran complejidad de hábitats (González-Espinoza, et al. 1991, Moguel y Toledo, 1996).

El sistema de café estudiado mostró una complejidad en su estructura. La densidad de especies de árboles de sombra es variable, pero en general es tan alta como en otras regiones (Nolasco, 1985; Godínez, 1997; Romero-Alvarado, et al., sometido; Jiménez-Avila y Martínez, 1979; CENTA, 1980; Escalante, 1995) y más alta comparativamente que en otras regiones del mundo (Sylvain, 1958; Caramori et al, 1996; Beer, 1995). Además de su alta densidad de árboles, estos cafetales se caracterizan por tener una alta cobertura y riqueza de especies. Los cafetales presentan varios estratos de vegetación conteniendo árboles, arbustos y hierbas de diversas familias botánicas, géneros y especies. Contienen diferentes clases de fustes (árboles vivos, árboles muertos, tocones) cuyas copas presentan

diversas formas y posiciones dentro del dosel.

Entre sus especies, los cafetales estudiados contienen aproximadamente el 40% de la vegetación leñosa de bosques mesófilos y selvas tropicales originales, por lo que pueden considerarse como refugio de especies vegetales nativas de estos tipos de vegetación, como fue sugerido por Purata y Meave para otras áreas de México (1993). Todas las características antes mencionadas dan al sistema una heterogeneidad y complejidad que promueve una multiplicidad de hábitats para organismos asociados, como ha sido probado para otros grupos de organismos tales como aves (Aguilar-Ortiz 1980, Greenberg et al. 1997, 1997a), mamíferos (Estrada et al. 1993, Gallina et al. 1996), reptiles (Seib, cited by Perfecto et al. 1996), insectos (Torres 1984, Perfecto et al. 1997), arácnidos (Ibarra-Núñez 1990) y orquídeas (Nir 1988).

Sin embargo, el vertiginoso proceso de modernización del sistema de café ha llevado a la conversión de cafetales de sombra en cafetales con sombra disminuyendo su diversidad, en cafetales con sombra de una sola especie y, en el caso más extremo, a cafetales sin sombra. Este proceso, originado a nivel mundial en los años 60's dentro del contexto de la revolución verde, aunado a algunas observaciones que auguraban aumento de rendimientos y control de enfermedades (principalmente la roya), propició que grandes áreas de selva y bosques, cuyo piso albergaba café fueran desmontados para convertirse en cafetales a pleno sol (Perfecto et al., 1996). Con este cambio vinieron también programas de mejoramiento genético encaminados a producir variedades de café adaptadas al pleno sol y a la introducción de fertilizantes y de pesticidas. En México, los productores que pudieron tecnificar sus cafetales lo hicieron, basados

en los paquetes del INMECAFE, pero la mayoría se vieron obstaculizados por las limitaciones económicas. Los primeros cambiaron el sistema de sombra diversa por el de sombra monoespecífica, pocos la eliminaron completamente, incorporaron agroquímicos y también adoptaron variedades mejoradas de café; los últimos mantuvieron la sombra diversa, adoptaron algunas variedades que mezclaron con la variedad *Typica* y, según su disponibilidad de recursos económicos, incorporaron fertilizantes y pesticidas. Las oportunidades y limitaciones económicas de cada productor han dado como consecuencia una amplia gama de tipos de cafecultura conformadas por la combinación de estas prácticas o su ausencia.

La tipología de cafetales según su composición florística y más específicamente, por la presencia de especies de *Inga* ilustra este proceso de intensificación. El paquete tecnológico propuesto por el INMECAFE incluía el cambio de la sombra diversa por una sombra monoespecífica o de pocas especies del género *Inga*. Los trabajos de extensión en este sentido tuvieron un fuerte impacto y aún en la actualidad, no obstante que el INMECAFE desapareció desde 1990, prevalece el interés de los productores de muchas regiones de México en continuar con el cambio del sistema de sombra, como lo hemos constatado en la zona norte del estado de Chiapas. Como se ha mencionado, los cambios tecnológicos que los productores llevan a cabo en sus cafetales depende de las posibilidades económicas y de las oportunidades que se les presentan. Así, de no existir programas de capacitación hacia un reconocimiento del valor que tiene la vegetación diversa, continuará la sustitución de ésta por sistemas de una sombra dominada por una o pocas especies de un solo género. Este cambio traería



consecuencias desfavorables para la conservación de los recursos vegetales, no obstante que los cafetales con sombra de *Inga* han mostrado beneficios biológicos (Greenberg, 1997a) y económicos (Romero et al. sometido) similares a los de la vegetación diversa, es de esperarse que una mayor diversidad de plantas traiga como consecuencia mayores posibilidades de establecimiento de nichos para otras especies asociadas.

Actualmente, ante los giros del mercado, se abre una oportunidad para los productores que se quedaron esperando mejores condiciones para intensificar su cafecultura. Esta oportunidad es la de incrementar sus ingresos mediante la venta de productos o servicios derivados del cafetal con sombra tales como el café amable con la biodiversidad. Asimismo, se podría explorar la posibilidad de la venta de un café natural, el cual no incorpora la gran cantidad de materiales o fuerza de trabajo del café orgánico, pero tiene la ventaja de estar libre de productos químicos sintéticos. Los resultados de este trabajo ayudan a construir criterios para el establecimiento de normas para la certificación de un café de sombra.

### **7.3. Interacciones agroecológicas del cafetal con sombra y la salud del agroecosistema**

Los rendimientos de café en la zona estudiada, que fue de 17 quintales por hectárea, pueden considerarse adecuados. Están por arriba de la media nacional que es de 8 quintales por hectárea (Nolasco, 1985; Nestel, 1995) y coinciden con los encontrados por Romero-Alvarado et al. (sometido) también en la zona norte

de Chiapas. Desde luego, al ser comparados con otras regiones como Colombia, Costa Rica o Brasil, donde se reporta alrededor de 30 quintales por hectárea, pueden resultar bajos. Sin embargo, es necesario considerar que este café se cultiva bajo altas coberturas de sombra, altas densidades de árboles y bajas densidades de cafetos. Como señala Muschler (1997), el nivel de sombra depende no sólo de factores ambientales y técnicos, sino de los niveles socioeconómicos del productor, la disponibilidad de insumos y los objetivos de la producción. Coincidiendo con García-Barrios y García-Barrios (1996) los sistemas de producción campesinos cuentan con características que los distinguen de la agricultura empresarial y la agroecología puede generar tecnologías que mantengan la rentabilidad de las unidades de producción, reduciendo costos financieros, ambientales y de salud aun cuando los rendimientos agrícolas no sean máximos. Ventajas adicionales se encuentran en estos sistemas productivos al ser manejados en un bajo nivel de insumos y como un sistema natural con escasa intervención.

En general, la salud del sistema puede considerarse buena. Los niveles de incidencia de broca, roya y malezas fueron bajos y no requieren una intervención técnica para su control. Estos resultados sugieren que la heterogeneidad del sistema favorece un control natural de las poblaciones de plagas, enfermedades y arvenses, como ha sido propuesto por las teorías ecológicas que postulan que la complejidad puede funcionar como barrera física o química contra organismos patógenos, o bien, favorecer nichos de especies depredadoras y antagonistas que controlan a las poblaciones de insectos, hongos y malezas.

El estado nutricional del sistema puede considerarse bueno, presenta altas

cantidades de materia orgánica y alta capacidad de intercambio de cationes. Comparando con datos de otras regiones, los niveles nutrimentales de N, P, K, Ca, Mg y materia orgánica son adecuados. Sin embargo se observa una competencia por fósforo entre la vegetación de sombra y los cafetos, la cual se pudo comprobar por las correlaciones negativas entre algunas variables de la estructura de la vegetación y la absorción de algunos nutrimentos como el fósforo y el magnesio. Sin embargo, al parecer según experimentos llevados a cabo en Centro América, el café no responde a incrementos en fósforo, ya que es una planta micorrícica (Kass, Com. Pers.)<sup>1</sup>. Así que no se esperarían grandes cambios mediante adiciones de fósforo. Sin embargo existe la posibilidad de realizar investigación con plantas que favorezcan la absorción de este nutrimento, la cual podría ser un medio de encontrar alternativas orgánicas de gran trascendencia.

Los cafetales con presencia de *Inga pavoniana* e *Inga punctata* mostraron diferencias en cuanto a las características del suelo en comparación con aquellos cafetales sin la presencia de *Inga*. Mayores CIC, K, Ca y Mg del suelo, se presentaron en los cafetales sin *Inga*, pero, no hubo diferencias en cuanto a la absorción de nutrimentos como tampoco en los rendimientos. Estos resultados coinciden con los encontrados por Romero-Alvarado et al. (sometido) para una zona cercana. Es necesario señalar que en ocasiones estos efectos se observan a largo plazo y en el futuro podrían encontrarse diferencias en absorción de nutrimentos como en rendimiento, lo cual nos conduciría a pensar que *Inga*, no obstante que ha sido un género ampliamente recomendado y utilizado en las zonas cafetaleras, no está aportando más nutrimentos que la vegetación diversa.

---

<sup>1</sup> Dr. Donald Kass. Profesor/Investigador del CATIE, Turrialba, Costa Rica.

La heterogeneidad y complejidad del agroecosistema promueve, entonces, un estado saludable del agroecosistema. El mantenimiento de la biodiversidad, la heterogeneidad, la fertilidad y la salud de sistemas cafetaleros campesinos no es casual, sino que, como señala Altieri (1993), depende de un complejo conjunto de técnicas y conocimiento tradicional de las sociedades campesinas indígenas.

En la medida en que el agroecosistema de café ha mantenido sus características originales se mantiene saludable, medido este estado de salud por la baja incidencia de broca, roya, malezas, y su adecuado contenido de nutrimentos en el suelo y absorbidos por la planta de café, así como por su papel social y económico en la producción de bienes y servicios para la población campesina. Esto refleja el vigor, organización y resiliencia del agroecosistema.

El estudio de las interacciones agroecológicas contribuye a generar información básica para un futuro diseño de intervención tecnológica para los cafetales, así como para la construcción de criterios de salud del agroecosistema y para la definición de criterios para café con sombra que en el futuro podrían servir para la certificación de un café de especialidad.

#### **7.4. Recomendaciones**

Los rendimientos podrían sostenerse en el máximo nivel si se mantiene la sombra alrededor de 50% de cobertura. Sombras con mayor cobertura podrían podarse ligeramente mediante el acalareo de algunas ramas de los árboles, pero cuidando de no bajar el porcentaje indicado, pues ya se han mencionado las ventajas que tiene la cobertura para el resto del agroecosistema. Los rendimientos

también podrían incrementarse realizando las podas de las ramas improductivas del cafeto después de la cosecha de grano, pues como se discutió en el capítulo 4, esta práctica es indispensable para una buena producción en el año subsiguiente.

Los productores de zonas bajas cuentan con una mayor producción que aquellos de zonas altas; sin embargo estos últimos tienen la posibilidad de vender su café a un mejor precio, pues como café de altura (mayor a mil metros) tiene una mejor calidad (capítulo 4). Los productores podrían realizar una separación de café por alturas y promover así el pago de beneficios adicionales.

Mantener una diversidad de especies, varios estratos de vegetación, y por lo tanto una heterogeneidad microambiental, será más útil en términos de productos y servicios ecológicos que pueden ofrecer los cafetales, así como para el control de broca, roya y arvenses.

Estos sistemas pueden considerarse sostenibles ya que el uso de la sombra es compatible con el bajo uso de insumos externos y con la conservación del ambiente, mantiene controladas las principales poblaciones de plagas, enfermedades y malezas, mantiene los rendimientos, ofrece disponibilidad de recursos múltiples, ofrece posibilidades de mayores ingresos y tiene una alta relación beneficio/costo.

Otras alternativas se vislumbran para incorporar valor a los cafetales. Una de ellas es la propagación de plantas ornamentales, medicinales y comestibles, por citar solo algunas categorías, que crecen de manera natural en los cafetales y que pueden tener un gran valor en el mercado nacional e internacional, tales como orquídeas, helechos, hongos y aráceas, u otras plantas cultivadas que de hecho,

crecen en el estrato herbáceo del cafetal.

Otra alternativa es la venta del servicio de captura de carbono. En este renglón, se han hecho estimaciones de las cantidades potencialmente capturadas en cafetales enriquecidos con árboles maderables, los cuales tienen potencial de capturar hasta 1.1 ton/ha C/ha anualmente (de Jong et al., 1995; Montoya, et al., 1995, Soto-Pinto et al., en prensa). De hecho, los productores de las comunidades estudiadas están involucrados en un proyecto de captura de carbono y en virtud de que tienen pocas áreas para reforestación han propuesto áreas agrícolas para formar parte de un proyecto agroforestal, en donde está incluido el enriquecimiento de cafetales con especies valiosas maderables. Esta propuesta está recibiendo beneficios económicos por la venta de captura de carbono desde 1997 por parte de la Federación Internacional de Automóviles (fórmula Uno) (<http://www.ed.ac.uk/~ebfr11>).

Otra alternativa, que ha tenido muy buenos resultados es la venta de café de especialidad. Se ha visto que la demanda de café orgánico es cada vez mayor en países cuyos consumidores están preocupados por la calidad de los alimentos que consumen en beneficio de su salud (Püelschen y Lutzeyer, 1993). Por otro lado, científicos norteamericanos, preocupados por la migración de las aves y por el deterioro de las reservas forestales en el sur, han estudiado la diversidad de aves en cafetales han puesto de manifiesto su importancia en la conservación de las aves. Así que, en el mercado norteamericano se ha propuesto el pago de un sobreprecio al café cultivado bajo sombra de vegetación diversa. Este hecho, podría poner en ventaja a los productores con sistemas de sombra diversa, al verse favorecidos por un estímulo económico. Según datos de la Comisión para la

Cooperación Ambiental<sup>2</sup>, el 90% de los productores mexicanos calificarían para vender con un sobreprecio de café amable con la biodiversidad. Con esto, se beneficiarían miles de familias campesinas que podrían participar en el amplio y creciente mercado del café de especialidad, el cual representa 1.5 mil millones de dólares estadounidenses. Este mercado será cada vez mayor. En la medida que los consumidores de café tomen conciencia sobre los beneficios ofrecidos por la opción que representa el café de sombra, el mercado estará en posibilidades de contribuir a proteger el ambiente y ayudará a mantener los medios de subsistencia de los agricultores del campo mexicano.

Otro servicio podría ser el ecoturismo, ya que, actualmente en áreas con vías de comunicación, se incrementa la importancia del turismo especializado, o turismo ecológico, el cual puede basarse en la afluencia de personas interesadas en conocer los procesos productivos de comunidades indígenas en países en vías de desarrollo ecológicamente amables. Mostrar el proceso de producción, especialmente aquél que puede ser natural, orgánico y/o amable con la biodiversidad podría ser un atractivo para personas interesadas en estos aspectos y a esto podrían encadenarse la venta de otros productos y servicios que incrementen los ingresos de las familias campesinas.

### **7.5. Perspectivas de investigación y desarrollo.**

En el campo de la agroecología es necesario la identificación de las interacciones entre componentes de los agroecosistemas y el estudio de su

---

<sup>2</sup> Comisión para la Cooperación Ambiental, <http://www.ccc.org>

comportamiento, lo cual permitirá reconocer las interacciones sinérgicas que faciliten el diseño de propuestas de manejo alternativo del cafetal que incluyan el mantenimiento o incremento de la producción, sin menoscabo de las ventajas que ahora ofrece este sistema productivo. Es necesario llevar a cabo evaluaciones más profundas sobre las relaciones entre la sombra, los factores climáticos y la producción. Mediciones precisas sobre la capacidad fotosintética de las plantas podrían precisar el efecto de la estructura de la vegetación sobre la producción y el desarrollo de modelos de simulación permitirían predecir interacciones y cambios en el sistema. El estudio de las relaciones entre la sombra, factores microclimáticos y la incidencia de plagas y patógenos sería muy conveniente.

La construcción de indicadores y líneas base de salud para diferentes condiciones tecnológicas de producción y el conocimiento de las relaciones entre los árboles de sombra, los indicadores de salud y la producción permitirían buscar alternativas de control natural de plagas, enfermedades y malezas, así como definir los niveles de incidencia a partir de los cuales se requiere control. Otros organismos patógenos, además de la broca y la roya, deberán ser incluidos en nuevos estudios, así como una evaluación más profunda sobre la incidencia de arvenses, determinando las especies que componen este estrato y los usos que les dan las productoras y productores.

Estudios de diversidad de otros grupos de organismos serían también muy útiles sin descuidar los microorganismos del suelo, así como las relaciones que se establecen en el área de raíces (Anderson y Sinclair, 1993; Beer et al., 1998).

Serían muy apropiadas, también, las investigaciones sobre características nutricionales del follaje de las principales especies que componen la sombra de



cafetales rústicos, así como la absorción de nutrimentos por los árboles (Beer et al., 1998) y las tasas de descomposición de la materia orgánica (Haggar et al., 1993); así como estudios que identifiquen especies promisorias para establecer relaciones micorrícicas, hacer más efectiva la disponibilidad de fósforo (Beer et al., 1998).

Los trabajos que consideren medianos plazos, cuyas evaluaciones se realicen en el tiempo y en las propias parcelas de los productores (on-farm research) serán muy importantes.

Serían muy deseables los estudios sobre el potencial de producción de otros bienes como la producción de madera, leña, plantas ornamentales, hongos, aráceas, orquídeas, palmas, bromeliáceas y también sobre la producción de servicios como la captura de carbono, el ecoturismo y las posibilidades de mercado del café de especialidad.

De acuerdo con Hernández (1996), es necesario promover una visión de la sociedad rural en lo general y de la cafecultura de sombra en lo particular, como productora de un conjunto de bienes con valor de uso y que involucran el buen funcionamiento de la sociedad urbana y constituyen una reserva para el futuro. También, de acuerdo con Hernández (1996) es necesario promover una política de compensación por estos servicios. Es pues importante, como menciona este autor, una evaluación diagnóstica regional y la definición de programas o proyectos de desarrollo que consideren a los recursos naturales como activos, de tal manera que se calcule, en el rubro de costos, su tasa de desgaste o depreciación, y se considere quién y cómo se paga por la recuperación del recurso. De igual manera, concordando con Parra y Moguel (1996), los

productores campesinos tienen, a pesar de las políticas globalizadoras con carácter homogeneizante, respuestas locales altamente diversas así como un alto potencial de cambio; y, las organizaciones de cafecultores requieren un fuerte apoyo técnico, organizativo y financiero para superar las dificultades.

## Capítulo VIII

# **Literatura citada en los apartados generales**

## VIII. Literatura citada en los apartados generales

- Aguilar-Ortíz, F. 1980. Estudio ecológico de las aves del cafetal. *In*: Jiménez-Avila, E., A. Gómez-Pompa (Eds.). Estudios ecológicos en el sistema cafetalero. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Ver. México.
- Ahenkorah, Y., G.S. Akrofi y A.K. Adri. 1974. The end of the first cacao shade and manurial experiment at the Cacao Research Institute of Ghana. *Journal of Horticultural Science*, 49:43-51.
- Alfaro, M. y M. Rojas. 1992. Sistemas agroforestales en la cuenca superior del Río Nosara (Guanacaste, Costa Rica). *In*: Montagnini, F.(Ed.) Sistemas agroforestales. Principios y aplicaciones en los trópicos. San José, Costa Rica. Organización para Estudios Tropicales. pp. 277-330
- Altieri, M.A. 1993. Ethnoscience and biodiversity: key elements in the design of sustainable pest management systems for small farmers in developing countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 46: 257-272
- Altieri, M.A. 1983. Agroecology. The scientific basis of alternative agriculture. Div. Biol. Control, Universidad de California. Berkeley, EE.UU.
- Altieri, M.A. 1987. Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture. Westview Press, Boulder, 227 p.
- Altieri, M.A. 1989. Agroecology: a new research and development paradigm for world agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 27: 37-46.
- Altieri, M.A. y D. K. Letorneau. 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection*, 1: 405.

- Altieri, M.A. y L.C. Merrick. 1987. In situ conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems. *Economic Botany*, 41(1):86-96.
- Altieri, M.A. y S.R. Gliessman. 1983. Effect on plant diversity on the density and herbivory of the flea beetle, *Phyllotreta cruciferae* Goeze, in California collard cropping systems, *Crop Protection*, 2: 497.
- Alvim, P., 1960. Physiology of growth and flowering in coffee. *Coffee*, 2(6), 57-62.
- Anderson, L. S. y F. L. Sinclair. 1993. Ecological interactions in agroforestry systems. *Agroforestry Abstracts*, 6:57-89.
- Andrewartha, H. 1954. The distribution and abundance of animals. University of Chicago Press. Chicago, 580 p.
- Ataroff, M. y M. Monasterio. 1997. Soil erosion under different management of coffee plantations in the Venezuelan Andes. *Soil Technology*, 11(1): 95-108.
- Aylor, D.E. 1990. The role of intermittent wind in the dispersal of fungal pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, 28:73-92.
- Babbar, L.I. y D.R. Zak. 1994. Nitrogen cycling in coffee agroecosystems: net N mineralization and nitrification in the presence and absence of shade trees. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 48:107-113.
- Babbar, L.I. y D.R. Zak. 1995. Nitrogen loss from coffee agroecosystems in Costa Rica. Leaching and denitrification in the presence and absence of shade trees. *Journal of Environmental Quality*, 24: 227-233.
- Baker, H. G. 1991. The continuing evolution of weeds. *Economic Botany* 45(4): 445-449.
- Barradas, V. L. y L. Fanjul. 1984. La importancia de la cobertura arbórea en la

- temperatura del agroecosistema cafetalero. *Biótica*. 9(4), 415-421.
- Barradas, V.L. y L. Fanjul. 1986. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology*, 38:101-112.
- Barrera, G. J. F. y M. L. Covarrubias. Efecto de diferentes condiciones de sombra del cafetal sobre la intensidad del ataque de la broca del grano de café *Hypothenemus hampei* ferr. (Coleoptera: Scolytidae) en el Soconusco, Chiapas, México. El Colegio de la Frontera Sur. Manuscrito interno.
- Beer, J. 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. *Agroforestry Systems*, 5: 3-13.
- Beer, J. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems*, 7:103-114.
- Beer, J. 1991. Implementing on-farm agroforestry research: lessons learned in Talamanca, Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 15: 229-243.
- Beer, J. 1995. Efectos de los árboles sobre la sostenibilidad de un cafetal. *Boletín PROMECAFE (Guatemala)*, 68:13-17.
- Beer, J., R. Muschler, D. Kass y E. Somarriba. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*, 38: 139-164.
- Beniest, J. 1994. *Diagnosis & Design exercise book*. International Centre for Research in Agroforestry, Embu, Kenya.
- Bergelson, J. y P. Kareiva. 1987. Barriers to movement and the response of herbivores to alternative cropping patterns, *Oecologia*, 71:457-460.
- Bermudez, M.M. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema de

café (*Coffea arabica* L.), poró (*Erythrina poeppigiana* Walper O.F. Cook) en Turrialba, Costa Rica. Tesis de Maestría. CATIE-UCR, Turrialba, Costa Rica.

- Blackie, J.R. y K. A. Edwards. 1979. General conclusions from land use experiments in East Africa, *East Africa Agriculture and Forestry Journal* (Número especial), 271-277.
- Brash, A.R. 1987. The history of avian extinctions and forest conversion on Puerto Rico. *Biological Conservation*, 39:97-111.
- Budowski, G. 1993. Agroforestería : una disciplina basada en el conocimiento tradicional. *Revista Forestal Centroamericana*, may-jun. pp. 14-18.
- Bye, R. A. 1981. Quelites –ethnoecology of edible greengreens- past, present and future. *Journal of Ethnobiology* 1:109-114.
- Calow, P. 1992. Can ecosystems be healthy? Critical consideration of concepts. *Journal of Aquatic Ecosystems Health*, 1:1-5.
- Campbell, C.A.M. 1984. The influence of overhead shade and fertilizers on the Homoptera of mature Upper-Amazon cocoa trees in Ghana. *Bulletin of Entomological Research*, 74: 163-174.
- Caramori, P.H., A. Androcioli Jr. y A.C. Leal. 1996. Coffee shade with *Mimosa scabrella* Benth. for frost protection in southern Brazil. *Agroforestry Systems*, 37: 11-120.
- Casas, A., J. Caballero, C. Mapes y S. Zárate. 1997. Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 61:31-47.
- Castillo, A. y V. M. Toledo, M. 2000. Applying ecology in the third world: the case

- of Mexico. *BioScience* 50(1): 66-76.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agrícola). 1980. Documentos técnicos sobre aspectos agropecuarios No. 3. Información y documentación, San Andrés, La Libertad. El Salvador, pp. 2-28.
- Comisión Nacional del Café de Nicaragua. 1992. Estimación de cosecha en plantaciones de café en Nicaragua. *In*: Instituto Hondureño del Café (Comp.). Seminario-Taller Regional sobre Pronósticos de Cosechas de Café. Tegucigalpa, Honduras, pp. 54-77.
- Cook, O. F. 1901. Shade in coffee culture. Department of Agriculture Bulletin 25, Washington, DC. EE.UU.
- Costanza, R. 1992. Toward an operational definition of ecosystem health. *In*: Costanza, R., B. G. Norton y B.D. Haskell (Eds.). Ecosystem health: new goals for environmental management. Island Press, Washington, D.C.
- Corredor, G. 1989. Estudio comparativo entre la avifauna de un bosque natural y un cafetal tradicional en el Quindío. Tesis de Licenciatura, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Coyner, M.S. 1960. Agriculture and trade in Nicaragua. Washington (DC): Foreign Agriculture Service.
- Cuenca, G., J. Aranguren y R. Herrera. 1983. Root growth and litter decomposition in a coffee plantation under shade trees. *Plant and Soil*, 71:477-486
- Chambers, R. 1983. Rural development: putting the last first. Longman. Inglaterra. 246 p.
- Chancellor, R. J. 1985. Changes in the weed flora fo an arable field cultivated for 20 years. *Journal of Applied Ecology* 22: 491-501.



- Dakwa J. T. 1980. The effects of shade and NPK fertilizers on the incidence of cocoa black pod disease in Ghana. Horticultural Abstracts No. 2164, 50(3):187.
- De Jong, B. H., G. Montoya-Gómez, K. Nelson, L. Soto-Pinto, J. Taylor y R. Tipper. 1995. Community forest management and carbon sequestration: a feasibility study from Chiapas, Mexico. *Interciencia*. Vol. 20 (6): 409-416.
- Debach, P. y D. Rosen. 1991. Biological control by natural enemies. Cambridge University Press. Segunda Ed. Cambridge 440 p.
- Del Amo, S., A. Cárdenas, V., A.L. Anaya. 1992. Manual de actividades de conservación y recuperación de especies para los comités municipales, Chiapas. Gobierno del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. 174 p.
- Dix, M.E., R.J. Johnson, M.O. Harrell, R.M. Case, R.J. Wright, L. Hodges, J.R. Brandele, M.M. Schoeneberger, N.J. Sunderman, R.L. Fitzmaurice, L.J. Young y K.G. Hubbard. 1995. Influence of trees on abundance of natural enemies of insect pests: a review. *Agroforestry Systems*, 29:303-311.
- Early, D.K. (Ed.). 1982. *Café: dependencia y efectos*. Instituto Nacional Indigenista, México, D.F., México, 159 p.
- Edwards, C.A., T.L. Grove, R.R. Hardwood, C.J. Pierce. 1993. The role of Agroecology and integrated farming systems in agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 46: 99-121.
- Escalante, E. 1995. Coffee and agroforestry in Venezuela. *Agroforestry Today*, 7 (3-4), 5-7.
- Escamilla, P.E., A. L. Licona, V., S. Díaz, C., H.V. Santoyo, C., R. Sosa y L.

- Rodríguez, R. 1994. Los sistemas de producción de café en el centro de Veracruz México. Un análisis tecnológico. *Revista de Historia (Centro de Investigaciones Históricas Universidad de Costa Rica)*, 30: 41-67.
- Eskes, A.B. 1982 The effect of light intensity on incomplete resistance of coffee to *Hemileia vastatrix*. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 88:191-202.
- Estrada, A., R. Coates-Estrada, D. Merrit Jr. 1993. Bat species richness and abundance in tropical rain forest fragments and in agricultural habitats at Los Tuxtlas, México. *Ecography*, 16: 309-318.
- Everitt, B. S. y G. Dunn. 1991. *Applied multivariate data analysis*. Edward Arnold. Nueva York.
- Ewell, J.J. 1986. Designing agricultural ecosystems for the humid tropics. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17: 245-271.
- FAO. 1999. Base de Datos FAOSTAT. Página Web <http://www.fao.org>.
- Fonseca, J.P. da. 1939. A 'broca' e o combramento dos cafezais. *Biológico* 5: 133-136.
- Franco, C.M. 1951. A agua do solo e o sombreamento dos cafezais na America Central. *Bragantia*, 11:99-119.
- Fulvio, A. di. 1947. The world's coffee studies of the principal agricultural products on the world market. No. 9. International Institute of Agriculture Bureau of FAO. Roma.
- Gallina, S., S. Mandujano y A. González-Romero. 1996. Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of Central Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems*, 33: 13-27.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen.

Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 217p.

García-Barrios, L. y R. García-Barrios. 1992. La modernización de la pobreza: dinámicas de cambio técnico entre los campesinos temporaleros de México. *Estudios Sociológicos (México)*, X (29): 263-405.

García-Pelayo y Gross, R. 1993. *Pequeño Larousse ilustrado*. Ediciones Larousse. México, D.F. 1663 p.

Godínez, M.J. 1997. Caracterización del sistema agroforestal café orgánico bajo sombra en tres municipios de la Región Fronteriza del estado de Chiapas. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo. México. 104 p.

González-Espinosa, M., P. F. Quintana-Ascencio, N. Ramírez-Marcial y P. Gaytán-Guzmán. 1991. Secondary succession in disturbed Pinus-Quercus forests in the highlands of Chiapas, Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 2: 351-360.

Granados, S.D. y J. Vera L. 1995. El sistema agroforestal cafetalero en Córdoba Veracruz. *Revista Chapingo* 1(1): 97-108.

Greenberg, R., P. Bichier, A.C. Angon y R. Reitsma. 1997. Bird populations in shade and sun coffee plantations in central Guatemala. *Conservation Biology*, 11 (2): 448-459.

Greenberg, R., P. Bichier, J. Sterling. 1997a. Bird populations and planted shade coffee plantations of eastern Chiapas. *Biotropica*, 29(4):501-514.

Haggar, J. P., J. W. Beer, E. V. J. Tanner y M. Rippin. 1993. Nitrogen dynamics of tropical agroforestry and annual cropping systems. *Soil Biological Biochemistry*, 25: 1363-1378.

Hart, D. R. 1985. conceptos básicos sobre agroecosistemas. Serie Materiales de

Enseñanza No. 1. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 159 p.

Haskell, B.D, B. G. Norton y R. Costanza. 1992. What is ecosystem health, and why should we worry about it?. *In*: Costanza, R., B.G. Norton y B. D. Haskell (Eds.). *Ecosystem health: new goals for environmental management*. Island Press, Washington, D.C.

Hernández, G.O., J. Beer y H. von Platen. 1997. Rendimiento de café (*Coffea arabica* cv Caturra), producción de madera (*Cordia alliodora*) y análisis financiero de plantaciones con diferentes densidades de sombra en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas (Costa Rica)*, 4 (13), 8-13.

Hernández, N. L. 1996. Café: la pobreza de la riqueza/la riqueza de la pobreza. Ponencia presentada en el Primer Congreso Mundial sobre Café Sustentable. Washington, D.C., Sept. de 1996.

Hernández, X. E, F. Inzunza, M, C.B. Solano, S., M.R. Parra, V. 1981. Nuevos enfoques de la investigación en áreas agrícolas de ladera. *In*: Novoa y Posner (Ed.). *Seminario internacional sobre producción agropecuaria y forestal en zonas de ladera en América tropical*. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Informe Técnico no. 11. pp. 205-210.

Hernández, X.E. 1985. *Biología Agrícola*. CECOSA, Mexico, D.F., Mexico.

Herrera, R., A. Accardi, J. Navidad, G. Escalante, M. Toro y G. Cuenca, 1987. Coffee and cacao plantations under shade trees in Venezuela. *In*. Beer, J., H. W. Fassbender, J. Heuveldop (Eds.). *Advances in agroforestry research*. CATIE. Turrialba, Costa Rica, pp. 173-181.

Herzog, F. 1994. Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Cote d'Ivoire. *Agroforestry Systems* 27: 259-267.

- Hodges, C.F., D. A. Campbell y N. Christians. 1993. Evaluation of *Streptomyces* for bio-control of *Bipolaris sorokiniana* and *Sclerotinia homoeocarpa* on the phylloplane of *Poa pratensis*. *Journal of Phytopathology*, 139: 103-109.
- Huerta, H.S., 1954. La influencia de la intensidad de luz en la eficiencia asimilatoria y el crecimiento de cafeto. IICA, Costa Rica.
- Hutchinson, I.D., 1988. Points of departure for silviculture in humid tropical forests. *Commonwealth Forestry Review*, 67 (3), 223-230.
- Ibarra-Nuñez, G. 1990. Los artrópodos asociados a cafetos en un cafetal mixto del Soconusco, Chiapas, México. Variedad y abundancia. *Folia Entomológica Mexicana*, 79:207-231.
- ICAFFE. 1989. Manual de recomendaciones para el cultivo del café, 6a. ed. Programa Cooperativo Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE). Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), San José, Costa Rica.
- ICRAF. 1983. Resources for agroforestry diagnosis and designs: a handbook of useful tools and materials. Working paper No. 7. Nairobi, Kenya. International Centre for Research in Agroforestry, 383 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1987. Carta de uso de suelo y vegetación 1:250 000. Villahermosa E - 15. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1993. Anuario estadístico del estado de Chiapas. Instituto Nacional de Estadística e informática. Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1982. Carta topográfica 1:250 000. Villahermosa E - 15. Instituto Nacional de Estadística

Geografía e Informática. Aguascalientes, México.

Instituto Nacional del Café de Venezuela. 1942. Algunas observaciones prácticas acerca del cultivo y beneficio del café. Instituto Nacional del Café. Coop. de Artes Gráficas Caracas, Venezuela.

Jiménez-Avila, E. 1981. Ecología del agroecosistema cafetalero. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, D.F. México.

Jiménez-Avila, E. y A. Gómez-Pompa (Eds.). 1982. Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero. Instituto nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB), Xalapa, Veracruz, México.

Jiménez-Avila, E. y V.P. Martínez. 1979. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero. II. Producción de materia orgánica en diferentes tipos de estructura. *Biótica*, 4: 109-126.

Jiménez-Avila, E. 1979. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero: I. Estructura de los cafetales de una finca cafetalera en Coatepec, Ver. México. *Biótica* 4(1): 1-12.

Kareiva, P.M. 1983. Influence of vegetation texture on herbivore populations: resource concentration and herbivore movement, *In*: R.F. Denno y M.S. McClure (Eds.) *Variable Plants and Herbivores in Natural and Managed Systems*. Academic Press, Orlando, Florida, pp. 259-289.

Karr, J. R. y E. W. Chu. 1999. Restoring life in running waters. Island Press. Washington, D.C., 206 p.

Kass, D.C. 1978. Polyculture cropping systems: review and analysis. Cornell International Agricultural Bulletin, No. 32.

- Lal, R. 1984. Soil erosion from tropical arable lands and its control. *Advances in Agronomy*, 37: 183-188.
- Lal, R. 1996. Deforestation and land-use effects on soil degradation and rehabilitation in Western Nigeria. III. Runoff, soil erosion and nutrient loss. *Land Degradation and Development*, 7:99-119.
- León, R.A. 1990. Determinación de la hidroerosión laminar, utilizando varillas metálicas asociadas a parcelas de escorrentía, La Suiza, Cuenca del Río Tuis, Costa Rica, Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Litsinger, J.A. y K. Moody. 1976. Integrated pest management in multiple cropping systems, *In*: R.I. Papendick, P.A. Sanchez y G.B. Triplett (Eds.). *Multiple cropping*. ASA (American Society of Agronomy) Spec. Pub. 27, Madison, W.I., pp. 293-316.
- Liu, D. 1992. Biological control of *Streptomyces scabies* and other plant pathogens. Tesis de Doctorado. Universidad de Minnesota.
- Lock C. G.W. 1888. *Coffee: its culture and commerce in all countries*. E&FN Spon, Londres, Inglaterra.
- Lovett, J. V. 1991. Changing perceptions of allelopathy and biological control. *Biological Agriculture and Horticulture* 8: 89-100.
- MacDicken, K. G. y N. Vergara, T (Eds.). 1990. *Agroforestry, classification and management*. John Wiley & Sons. Nueva York. 382 p.
- Miranda, F. 1953. *La vegetación de Chiapas*. Ediciones del Gobierno del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. 2 Vols.
- Moguel, P. y V. M. Toledo. 1996. El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Ciencias* 43: 40-51.

- Moguel, P. y V.M. Toledo, M. 1999. La cafecultura orgánica de México en el contexto de la agricultura sustentable. Sometido en la Gaceta Ecológica (México).
- Montoya, G. G., L. Soto, B de Jong, K. Nelson, P. Farías, J. Taylor, R. Tipper. 1995. Desarrollo forestal sustentable: captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas. Instituto Nacional de Ecología. Cuadernos de Trabajo No. 4, 79 p.
- Moreno, R.A. y L.E. Mora. 1984. Cropping pattern and soil management influence of plant diseases. II. Bean rust epidemiology. Turrialba, 34:41-45.
- Morón, M.A. y J.A. López-Méndez. 1985. Análisis de la entomofauna necrófila de un cafetal en el Soconusco, Chiapas, México. Folia Entomológica Mexicana, 63: 47-59.
- Mueller-Dombois D. H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley. Nueva York. 499 p.
- Mundt, C.C. y K.J. Leonard. 1985. A modification of Gregory's model for describing plant disease gradients. Phytopathology, 75:930-35.
- Muschler, R. G., 1997. Efectos de sombra de *Erythrina poeppigiana* sobre *Coffea arabica* vars. Caturra y Catimor. In: Memorias del XVIII Simposium Latinoamericano de Cafecultura, San José, Costa Rica. Sept. 1997. pp. 157-162.
- Muschler, R.G. 1997. Sombra o sol para un cafetal sostenible: un nuevo enfoque de una vieja discusión. Memorias del XVIII Simposio Latinoamericano de Cafecultura. San José, Costa Rica, Sept. 1997. pp.471-476.
- Nagarajan, S. y D.V. Singh. 1990. Long-distance dispersion of rust pathogens.



- Annual Review of Phytopathology, 28:139-53.
- Nair, P. K. R. 1989. Agroforestry systems in the tropics. Kluwer Academic-ICRAF. Dordrecht, Holanda, 664 p.
- Nair, P.K.R. 1993. An introduction to agroforestry. Kluwer Academic. Dordrecht, Holanda, 499 p.
- Nataraj, T y S. Subramanian. 1975. Effect of shade and exposure on the incidence of brown-eye-spot of coffee. Indian Coffee, 39: (6): 179-180.
- Nestel, D. 1995. Coffee in Mexico: International market, agricultural landscape and ecology. Ecological economics. 15, 165-178.
- Nickel, J.L. 1973. Pest situation in changing agricultural systems-a review, Bulletin of the Entomological Society of America, 19:136-142.
- Nir, M.A. 1988. The survivors: orchids on a Puerto Rican coffee finca. American Orchid Society Bulletin, 57: 989-995.
- Nolasco, M. 1985. Café y sociedad en México. Centro de Ecodesarrollo, México, D.F. 454 p.
- Nye, P.H. y P.J. Greenland. 1960. The soil under shifting cultivation. Farnham Royal/England. Commonwealth Agricultural Bureau Technical Communication. No. 51, 156 p.
- Nygren, P. y C. Ramírez. 1995. Production and turnover of N<sub>2</sub> fixing nodules to foliage development in periodically pruned *Erythrina poeppigiana* (Leguminosae) trees. Forest Ecology and Management, 73: 59-73.
- Ortega, P. 1951. El cultivo del cafeto en Honduras, 4<sup>a</sup>. Ed. Tegucigalpa: Talleres Tipograficos Nacionales.
- Palm, C.A. 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of

- intercropped plants. *Agroforestry Systems*, 30:105-124.
- Parra, V. M. 1987. La producción silvoagropecuaria de los indígenas de Los Altos de Chiapas (un diagnóstico regional multidisciplinario). Seminario Prácticas Tradicionales y Manejo Integrado de Recursos. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades, 18-22 de Mayo de 1987.
- Parra V. M. R. y R. Moguel, V. 1996. Emergencia de ONG'S de cafeticultores indígenas en Chiapas. Estrategias frente a las políticas agrícolas. Second Conference of the International Society for Third-Sector Research. México, D.F. Julio de 1996.
- Pereira, H.C. 1973. Land use and water resources in temperate and tropical climates. Cambridge University Press, Cambridge.
- Perfecto I, J. Vandermeer, P. Hanson y V. Cartin. 1997. Arthropod biodiversity loss and the transformation of a tropical agro-ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 6: 935-945.
- Perfecto, I., R. Rice, R. Greenberg. y M.E. van der Voort. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience*, 46 (8): 598-608.
- Perrin, R. M. 1977. Pest management in multiple cropping systems, *Agroecosystems*, 3:93-113.
- Perrin, R.M. 1980. The role of environmental diversity in crop protection. *Protection Ecology*, 2:77.
- Power, A.G. y P. Kareiva. 1990. Herbivorous insects in agroecosystems. *In*: C. R. Carroll, J.H. Vandermeer, y P. Rosset (Eds.) *Agroecology*. McGraw Hill, Nueva York, pp. 301-327.

- Prinsley, R. T. 1992. The role of trees in sustainable agriculture- an overview. *Agroforestry Systems*, 20: 87-115.
- Purata, S. y J. Meave. 1993. Agroecosystems as an alternative for biodiversity conservation of forest remnants in fragmented landscapes. *In: Symposium Abstracts Forest Remnants in the Tropical Landscapes: Benefits and Policy Implications* p. 9. Smithsonian Migratory Bird Center. Washington DC.
- Rabbinge, R. 1986. The bridge function of crop ecology. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 3: 239-251.
- Ramos, S., E. Vallejo y M. Aguilera. 1982. Edafología del cafetal. *In: E. Jiménez Avila y A. Gómez-Pompa (Eds.). Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero*. INIREB, Xalapa, Veracruz, México, pp. 13-32
- Rapport, D.J., R. Costanza y A. J. McMichael. 1998. Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology and Evolution*, 13 (19): 397-402.
- Rayner, R.W., 1942. Shading of coffee in Latin America. *The Coffee Board of Kenya Monthly Bulletin*, 7 (80), 97.
- Rheenen, Van H.A., O.E. Hasselbach y S.G.S. Muigai. 1981. The effect of growing beans together with maize on the incidence of bean disease and pests, *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 7:193-199.
- Rice, R. A., 1997. The land use patterns and the history of coffee in eastern Chiapas, Mexico. *Agriculture and Human Values*, 14: 127-143.
- Risch, S.J., D. Andow y M.A. Altieri. 1983. Agroecosystem diversity and pest control: data, tentative conclusions, and new research directions. *Environmental Entomology*, 12: 625-629.
- Roberts, D. W. 1986. Ordination on the basis of fuzzy set theory. *Vegetatio*,

66:123-131.

Rohlf, F. J. 1997. NTSYSpc Version 2.00 Exeter Software. Stauket. Nueva York.

Romero-Alvarado, Y., L. Soto-Pinto, L. García-Barríos, J.F. Barrera-Gaytán. Shade type effect on coffee yields, soil nutrients and environmental temperature in Chiapas, México. Sometido.

Root, R.B. 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). Ecological Monographs, 43: 94-125.

Roskoski, J. 1982. Importancia de la fijación de nitrógeno en la economía del cafetal. *In*: E. Jiménez Avila y A. Gómez-Pompa (Eds.). Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero. INIREB, Xalapa, Veracruz, México, pp. 33-38.

Saenz, N. 1895. Cultivo del Cafeto. Casa Editorial de J.J. Pérez, Bogotá, Colombia.

Sánchez, P. A. 1981. Suelos del trópico. Características y manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 633 p.

SAS Institute Inc. 1989. SAS/STAT User's Guide, Version 6, Fourth Edition, Cary NC: SAS Institute Inc. 2 Vols.

Scherr, S. J. 1991. On-farm research: the challenges of agroforestry. Agroforestry Systems, 15:95-110.

Smith, E.S.C. 1981. The interrelationships between shade types and cocoa pest and disease problems in Papua New Guinea. International Tree Crops Journal, 6(1):31-49.

- Sneath, P. H. A. y R. R. Sokal. 1973. Numerical Taxonomy. Freeman. San Francisco.
- Soto-Pinto, L. B. De Jong, G. Jiménez-Ferrer. Propuestas agroforestales de uso múltiple y captura de carbono en comunidades indígenas de Chiapas. *In*: Parra-Vázquez M. y B. Díaz-Hernández (Eds.). Los altos de Chiapas: agricultura y crisis rural. Tomo II. En prensa.
- Stamps, W.T. y M.J. Linit. 1998. Plant diversity and arthropod communities: implications for temperate agroforestry. *Agroforestry Systems*, 39:73-89.
- Steege, H. 1994. Hemiphot. A programme to analyze vegetation indices, light and light quality from hemispherical photographs. Tropenbos Documents 3. Wageningen, The Netherlands. 43 p.
- Steel, R. G. y J. Torrie. 1985. Bioestadística: principios y procedimientos. McGraw Hill, Segunda Edición, Mexico, D.F.
- Stork, N. E. y M.J.D. Brendell. 1990. Variation in the insect fauna of Salawesi trees with season, altitude, and forest type. *In*: Knight W.J. y J. D. Holloway (Eds). *Insects and the rain forest of South East Asia (Wallacea)*. The Royal Entomological Society of London. Londres. pp. 173-194.
- Suter, G. W. 1993. A critique of ecosystem health concepts and indexes. *Environ. Toxicol. Chem.*, 12:1533-1539.
- Sylvain, P.G. 1958. Ethiopian coffee –its significance to world coffee problems. *Economic Botany*, 12: 111-130.
- Szott, L.T., E. C. Fernández and P. A. Sánchez. 1991. Soil-plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management*, 45:127-152.
- Tapley, R. G. 1961. Crinkly-leaf of coffee in Tanganyika. *Kenya Coffee*, 26: 156-

157.

- Toledo, M. V. M. 1994. La apropiación campesina de la naturaleza: un análisis etnoecológico. Tesis de Doctor en Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Torquebiau, E. 1994. Ecological interactions in agroforestry. Training Course on Agroforestry Research for Development. ICRAF. Nairobi, Kenya. 36 p.
- Torres, J.A. 1984. Diversity and distribution of ant communities in Puerto Rico. *Biotrópica*, 16: 296-303.
- Vandermeer J.H. y B. Schultz. 1990. Variability stability and risk in intercropping: some theoretical explorations. *In*: S.R. Gliessman (Ed.). *Agroecology: researching the ecological basis for sustainable agriculture*. Springer-Verlag, Nueva York. 205-229.
- Vandermer, J. 1992. Intercropping and agroforestry: a prespective from ecological theory. *In*: National Institute of Agro-Environmental Sciences (Ed.). *Ecological processes in agro-ecosystems*. NIAES Series No. 1. Japón, pp. 205-224.
- Vitousek, P.M. 1984. Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology*, 65(1): 285-298.
- Whittaker, R.H. 1975. *Communitites and ecosystems*. MacMillan. Nueva York. 385 p.
- Wiersum, K. F. 1984. Surface erosion under various tropical agroforestry systems. *In*: O'Loughlin, C.L. y A.J. Pearce (Eds.). *Symposium on Effects of Forest Land Use on Erosion Control and Slope Stability*, East-West Center, Honolulu, EE.UU. pp. 231-239.

- Wiersum, K. F. 1987. Development and application of agroforestry practices in tropical Asia. *In*: Beer, J. W., H. W. Fassbender y J. Heuveldop. (Eds.) *Advances in agroforestry research*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Costa Rica. pp. 282-293.
- Wilken, G.C. 1977. Integrated forest and small-scale farm system in middle America, *Agro-Ecosystems*, 3:291.
- Wit, C. T. de y J. P. Bergh van den. 1965. Competition between herbage plants. *Nethernalds Journal of Agricultural Science* 13: 212-221.
- Wringley, G. 1988. *Coffee*. Longman, Nueva York.
- Wright, A. 1990. *The death of Ramón González: the modern agricultural dilemma*. Impresiones de la Universidad de Texas. Austin Texas.
- Young, A. 1989. Ten hypothesis for soil agroforestry research. *Agroforestry Today*, 1: 13-16.
- Zaher, E., F.M. Barakat, R. Osman y M.I. El-Khaleely. 1985. Antagonism between phyllosphere bacteria and actinomycetes and *Ulocladium botrytis* Preauss. causing tomato leaf spot. *Egyptian Journal of Phytopathology*, 17: 15-22.
- Zimdahl, R. L. 1993. *Weeds: the begining*. Londres, Reino Unido.