DIAGNÓSTICO, PRODUCTIVIDAD Y AMBIENTE EN CAFETALES
Estudios regionales y de caso

Compiladores:
Rosalío López Morgado y Gabriel Díaz Padilla

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Av. Progreso no. 5, Barrio Santa Catarina
Alcaldía Coyoacán, C.P. 04010, Ciudad de México
Centro de Investigación Regional Golfo Centro
Campo Experimental Cotaxtla
Sitio Experimental Teocelo
Medellín, Veracruz, México
Libro Técnico No. 39, Mayo 2020
ISBN: 978-607-37-1190-6 (Formato electrónico)

AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

Dr. Víctor Manuel Villalobos Arámbula
Secretario

Dr. Miguel García Winder
Subsecretario de Agricultura

Ing. Víctor Suárez Carrera
Subsecretario de Autosuficiencia Alimentaria

Lic. David Monreal Ávila
Coordinador General de Ganadería

Dr. Salvador Fernández Rivera
Coordinador General de Desarrollo Rural

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Dr. Luis Ángel Rodríguez del Bosque
Director General

Dr. José Antonio Cueto Wong
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

M. C. Jorge Fajardo Guel
Coordinador de Planeación y Desarrollo

Lic. José Humberto Corona Mercado
Coordinador de Administración y Sistemas

Centro de Investigación Regional Golfo Centro

M.C. Sergio Alberto Curti Díaz
Director Regional

Dr. Sergio Uribe Gómez
Director de Investigación

Mtro. Francisco González Naranjo
Director de Administración

DIAGNÓSTICO, PRODUCTIVIDAD Y AMBIENTE EN CAFETALES: estudios regionales y de caso

Compiladores:

Rosalío López Morgado[1]
Gabriel Díaz Padilla[1]

[1]Investigador del Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Centro de Investigación Regional Golfo Centro
Campo Experimental Cotaxtla
Sitio Experimental Teocelo
Medellín, Ver., México
Mayo, 2020

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Progreso No. 5, Barrio Santa Catarina
Alcaldía Coyoacán, C. P. 04010, Ciudad de México, Tel.: 55-3871-8700

“Diagnóstico, productividad y ambiente en cafetales: estudios regionales y de caso”

Publicación en formato electrónico (Internet), número de ISBN: 978-607-37-1190-6

Primera edición en formato electrónico (Internet), 2020

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la institución.

Editado en el Centro de Investigación Regional Golfo Centro del INIFAP. Km. 22.5 Carretera Veracruz-Córdoba, Paso del Toro, mpio. de Medellín, Ver., México. CP. 94277, Teléfonos: 229-262-2203 al 05 y 800-088-2222, ext. 87809

Contenido

		Pág.
Introducción		1
APARTADO I. Investigación diagnóstica		4
I. Proyecto *Café In Red* en la Zona Centro del Estado de Veracruz: proceso metodológico y resultados generales		5
1.1.	Introducción	5
1.2.	Antecedentes	7
1.3.	Los supuestos del trabajo en red	9
1.4.	Descripción de Café *In Red*	10
1.5.	Resultados de Café *In Red*	13
1.6.	Consideraciones finales	19
	Literatura citada	20
II. Ordenamiento e implementación de un Observatorio Cafetalero en la Zona Centro del Estado de Veracruz (OC-ZCEV)		22
2.1.	Introducción	22
2.2.	Antecedentes	24
2.3.	Proceso estadístico-geográfico de ordenamiento del OC-ZCEV	34
2.4.	Estrategias de acción-investigación de Café *In Red*	42
2.5.	Consideraciones finales	43
	Literatura citada	44
III. Diagnóstico participativo de la cafeticultura en la Zona Centro del Estado de Veracruz: sistematización estadística de variables		47
3.1.	Introducción	47
3.2.	Antecedentes	49
3.3.	Sistematización estadística de variables registradas en el OC-ZCEV	57
3.4.	Síntesis reflexiva	74
	Literatura citada	75
IV. Análisis de la cadena de suministro del café en el Centro de Veracruz: situación actual, retos y oportunidades		81
4.1.	Introducción	81
4.2.	Métodos	83
4.3.	Resultados	85
4.4.	Discusión y conclusiones	100
	Literatura citada	111

V. Planeación participativa y multiobjetivo del sistema producto café en la Zona Centro del Estado de Veracruz: aplicación de un sistema soporte para la toma de decisiones		112
5.1.	Introducción	112
5.2.	Materiales y métodos	114
5.3.	Resultados y discusión	119
5.4.	Conclusiones	121
	Literatura citada	122
APARTADO II. Productividad de agroecosistemas		124
VI. Estructura y diversidad arbórea de cafetales bajo sistemas agroforestales: caso de la Sierra de Atoyac en la región Córdoba		125
6.1.	Introducción	125
6.2.	Antecedentes	127
6.3.	Metodología para la caracterización de la estructura y diversidad de SAF-Café	130
6.4.	Estructura arbórea en SAF-Café y una selva mediana subperennifolia	133
6.5.	Diversidad de especies en tres SAF-Café y una selva mediana subperennifolia	139
6.6.	Síntesis reflexiva	142
	Literatura citada	143
	Anexos	148
VII. Valoración participativa de atributos de especies arbóreas nativas en el sombreado de cafetales		149
7.1.	Introducción	149
7.2.	Antecedentes	150
7.3.	Etnobotánica de las especies arbóreas en el sombreado de cafetales	155
7.4.	Calidad de madera de árboles en el sombreado de cafetales	161
7.5.	Síntesis reflexiva	165
	Literatura citada	166
	Anexos	170
VIII. La finca como unidad de análisis en el manejo de cafetales bajo sistemas agroforestales (SAF-Café) locales		171
8.1.	Introducción	171
8.2.	Estudios de caso	173
8.3.	Proceso metodológico: la finca como unidad de análisis de SAF-Café	175
8.4.	Localización y atributos de los casos de estudio	177
8.5.	Caracterización y rentabilidad de tres SAF-Café	184

8.6.	Análisis multivariante	193
8.7.	Síntesis reflexiva	195
	Literatura citada	197

IX. Crecimiento de árboles de sombreado y producción de café en un sistema agroforestal: resultados experimentales 200

9.1.	Introducción	200
9.2.	Proceso metodológico en la experimentación	204
9.3.	Variables registradas en el componente café y su análisis de varianza	209
9.4.	Variables dasonómicas registradas y su análisis de varianza	215
9.5.	Conclusiones	227
	Literatura citada	228

X. Manejo de epífitas de los cafetales de sombra para la diversificación productiva y como fuente alternativa de ingresos 231

10.1.	Introducción	231
10.2.	Efecto de la remoción de epífitas sobre la productividad de café	232
10.3.	Recolección de epífitas caídas de forma natural	234
10.4.	Cultivo en viveros	235
10.5.	Orquídeas	237
10.6.	Conservación *ex situ* de orquídeas	239
10.7.	Talleres de cultivo tradicional de orquídeas	241
10.8.	Cultivo *in vitro* de orquídeas	243
10.9.	Protocolo de crecimiento acelerado *in vitro* de *Oncidium sphacelatum*	246
10.10.	Conclusiones	248
	Literatura citada	249

APARTADO III. Servicios ambientales 251

XI. Los suelos cafetaleros del Centro del Estado de Veracruz: propiedades físicas, químicas y biológicas 252

11.1.	Introducción	252
11.2.	Metodología	256
11.3.	Resultados	259
11.4.	Recomendaciones generales para un manejo sustentable del suelo	269
11.5.	Conclusiones	273
	Literatura citada	274

XII. Cartografía de zonas prioritarias que proveen servicios ambientales hidrológicos en cafetales: caso de la Zona Centro del Estado de Veracruz 276

12.1. Introducción 276
12.2. Generalidades del balance hidrológico 280
12.3. Descripción del modelo 281
12.4. Aplicación del modelo en la zona cafetalera del centro de Veracruz 283
12.4.1. Información fuente y uso de Sistemas de Información Geográfica 285
12.5. Análisis de resultados 286
12.5.1. Análisis y modelación de la captación bruta de agua 286
12.5.2. Análisis y modelación de la evapotranspiración potencial 287
12.5.3. Análisis y modelación de captación neta de agua 289
12.5.4. Análisis y modelación de la infiltración y escorrentía superficial del agua 289
12.6. Identificación de zonas prioritarias en la provisión de SAH 294
12.7. Consideraciones finales 297
Literatura citada 299
Anexos 301

XIII. Potencial de captura de carbono e impacto financiero en fincas cafetaleras de la Zona Centro del Estado de Veracruz 309

13.1. Introducción 309
13.2. Materiales y métodos 313
13.3. Análisis de escenarios 321
13.4. Potencial de captura de carbono y valoración económica 328
13.5. Síntesis reflexiva 329
Literatura citada 330

XIV. Implemento de un manejo integrado de plagas y enfermedades en cafetales de la Zona Centro del Estado de Veracruz 333

14.1. Introducción 333
14.2. Los nematodos y la problemática de la corchosis del cafeto en el estado de Veracruz 337
14.3. La roya del cafeto 344
14.4. Las hormigas arrieras en los cafetales 347
14.5. La broca del fruto del cafeto 351
Literatura citada 357

XV. Biodiversidad en cafetales		361
15.1.	Introducción	361
15.2.	¿Cómo se mide la biodiversidad?	363
15.3.	La biodiversidad que habita en los cafetales	368
15.4.	¿Por qué es bueno conservar la biodiversidad en fincas?	384
15.5.	¿Cómo fomentar y mantener la biodiversidad en los cafetales?	390
15.6.	Conclusiones	394
	Literatura citada	395

Índice de figuras

		Pág.
Figura 1.1.	Esquema metodológico donde en una primera fase se indican las cinco estrategias del proyecto.	14
Figura 1.2.	Diagrama esquematizado del funcionamiento del Centro de Inteligencia.	16
Figura 2.1.	Espacio geográfico regional de la producción de café en la ZCEV.	29
Figura 2.2.	Superficie sembrada y volumen de la producción de café cereza en el estado de Veracruz durante el periodo 1980-2011.	30
Figura 2.3.	Superficie sembrada y volumen de la producción de café cereza en el estado de Veracruz por región cafetalera en el año 2011.	31
Figura 2.4.	Modelo de elevación digital de la ZCEV y sus regiones productoras de café.	34
Figura 2.5.	Dispersión individual total de la superficie de las fincas cafetaleras registradas en el padrón cafetalero del estado de Veracruz (a); y apreciación de la dispersión cuando sólo se consideran cafetales de menos de 10 hectáreas (b).	37
Figura 2.6.	Distribución de fincas a través de su altitud dentro del intervalo 0 a 2,000 metros.	37
Figura 2.7.	Regiones conformantes de la ZCEV y distribución de fincas de café que definen espacios a considerar en estudios y acciones de cada estrategia de *Café In Red*.	41
Figura 3.1.	Costos de producción por hectárea de café cereza y tasa de retorno calculada a la inversión en cinco regiones de la ZCEV.	61

Figura 3.2.	Plano definido por los dos componentes principales con mayor explicación de la varianza de seis variables inherentes a productores, el cafetal y la unidad de producción.	68
Figura 3.3.	Agrupaciones formadas por el análisis multivariado y su distribución en el espacio geográfico definido por el OC-ZCEV.	72
Figura 3.4.	Representación gráfica de la relación entre el ingreso por café (IC) y el índice de fuentes de ingreso (IFI).	73
Figura 4.1.	Zona Centro del Estado de Veracruz y sus subregiones cafetaleras.	86
Figura 4.2.	Etapas de transformación en la cadena de suministro del café.	88
Figura 4.3.	Etapas de transformación del café (de izquierda a derecha): café en frutos o cereza, café pergamino producto del beneficiado húmedo, café verde u oro producto del beneficio seco y café tostado.	94
Figura 4.4.	Ganadores veracruzanos del Premio a la Calidad del Café Veracruzano; posteriormente resultaron ganadores de las emisiones 2012 y 2013 del concurso internacional Taza de Excelencia.	99
Figura 4.5.	Evento Segundo Día a la Calidad del Café Veracruzano en la Plaza Central del Palacio Municipal de Córdoba, Ver.	100
Figura 4.6.	Comportamiento de la producción del café en México y la dinámica de las cotizaciones del mercado internacional.	104
Figura 5.1.	Representación esquemática del proceso participativo para la toma de decisiones multicriterio y multiobjetivo.	114
Figura 5.2.	Árbol de problemas del componente café del agroecosistema.	117
Figura 5.3.	Árbol de problemas del componente árboles en el agroecosistema.	118
Figura 5.4.	Resultados del análisis sin agrupar criterios de decisión: precio, apoyos y comercialización.	119
Figura 5.5.	Resultados del análisis sin agrupar criterios de decisión: falta de tecnología, rendimientos y control de plagas.	119
Figura 5.6.	Resultados del análisis sin agrupar criterios de decisión: precio y tecnología.	119
Figura 5.7.	Resultados del análisis con la agrupación de criterios de decisión: tecnología, precios y apoyos.	120
Figura 5.8.	Resultados del análisis con la agrupación de criterios de decisión: precio, tecnología y apoyos.	120
Figura 5.9.	Resultados del análisis con la agrupación de criterios de decisión: apoyos, precio y tecnología.	120
Figura 6.1.	Delimitación del espacio geográfico donde se ubica la Sierra de Atoyac.	131
Figura 6.2.	Dispersión de frecuencias de altura de árboles por franja altitudinal y sistema.	135

Figura 6.3.	Distribución diamétrica de árboles en tres sistemas agroforestales de café y una selva mediana subperennifolia en la Sierra de Atoyac, Veracruz.	136
Figura 6.4.	Curvas especies-área de tres sistemas agroforestales de café y una selva mediana subperennifolia en la Sierra de Atoyac, Veracruz.	139
Figura 6.5.	Dendrograma de semejanza florística entre las 24 unidades de muestreo agrupadas con base en el coeficiente de Sørensen por el método de beta flexible.	141
Figura 7.1.	Madera de especies seleccionadas para estudio de propiedades físicas y mecánicas.	163
Figura 8.1.	Flujo metodológico para describir a nivel de finca SAF-Café.	176
Figura 8.2.	Concentrado de costos de producción e ingresos netos por sistema en cada finca de café.	187
Figura 8.3.	Tasas de retorno mostradas por las fincas de cada sistema en las regiones correspondientes.	188
Figura 8.4.	Tasas de Retorno (TR) generadas por el incremento del CP y el IN, al pasar en forma ascendente y paulatina de una finca a otra dentro y entre sistemas.	190
Figura 8.5.	Función de inversión entre los costos de producción y los beneficios netos de fincas de café bajo tres sistemas de manejo.	192
Figura 8.6.	Intervalo de inversión óptima a partir del punto de inflexión después de igualar a cero la segunda derivada.	193
Figura 8.7.	Distribución de observaciones en el plano factorial del CP1 y CP2 de tres SAF-Café en la ZCEV.	195
Figura 9.1.	Comportamiento de la producción de café cereza y café pergamino por ciclo en el lote experimental sobre SAF-Café.	211
Figura 9.2.	Producción de café cereza y pergamino en la interacción ciclo-arreglo.	212
Figura 9.3.	Relación café cereza-pergamino a través de los ciclos de cosecha.	214
Figura 9.4.	Relación cereza-pergamino por ciclo y bajo la sombra de especies arbóreas.	214
Figura 9.5.	Expresión del porcentaje de granos planchuela a través de los ciclos de cosecha.	215
Figura 9.6.	Incremento en volumen y área basal a lo largo del tiempo para dos arreglos espaciales.	218
Figura 9.7.	Medición del crecimiento en altura y diámetro en diferentes edades.	220
Figura 9.8.	Crecimiento del área basal y volumen de madera total por especie de sombra.	221

Figura 9.9.	Curvas de crecimiento ajustadas para altura de especies de sombra en dos arreglos topológicos del cafetal.	223
Figura 9.10.	Curvas de crecimiento ajustadas para diámetro de especies de sombra en dos arreglos espaciales.	225
Figura 9.11.	Turno técnico de aprovechamiento de *T. micrantha* conforme al criterio de cruce del ICA y el IMA.	226
Figura 10.1.	Evaluación del crecimiento de bromelias epífitas en el vivero de la finca Nebel, Coatepec, Veracruz.	236
Figura 10.2.	Diversidad floral de algunas orquídeas epífitas.	237
Figura 10.3.	El bosque de niebla es el ecosistema en donde se distribuye el 60% de las orquídeas mexicanas.	239
Figura 10.4.	Taller de capacitación de cultivo de orquídeas para productores de café.	242
Figura 10.5.	Protocolo para desarrollo acelerado de plántulas de *Oncidium sphacelatum* cultivadas *in vitro*. a) Detalle de la inflorescencia, b) Semillas germinadas *in vitro*, c) Plantas desarrolladas *in vitro* después de seis meses, d) Plantas de orquídeas establecidas *ex vitro* en invernadero.	247
Figura 11.1.	Diagrama de caja (mediana, Q1, Q3) y bigote (Mín., Máx.) de: contenido de arcilla (a), contenido de materia orgánica (b), capacidad de intercambio catiónico(c) y porosidad total (d) en los suelos de las regiones del OC-ZCEV. Región Norte = AT y MI (Atzalan y Misantla), Región Centro-norte = CO (Coatepec), Región Centro-sur = HU (Huatusco), Región Sur = CR y ZO (Córdoba y Zongolica).	260
Figura 11.2.	Influencia de la materia orgánica sobre la capacidad de intercambio catiónico (a) y la porosidad total (b) en los suelos de las regiones del OC-ZCEV.	261
Figura 11.3.	Diagrama de caja (mediana, Q1, Q3) y bigote (Mín., Máx.) del pH (a), nitrógeno total (b), fósforo (c) y potasio (d) en los suelos de las regiones del OC-ZCEV. 1 = región Norte, 2 = región Centro-norte, 3 = región Centro-sur, 4 = región Sur.	262
Figura 11.4.	Diagrama de caja (mediana, Q1, Q3) y bigote (Mín., Máx.) del calcio (a) y magnesio (b) intercambiable en los suelos de las regiones del OC-ZCEV. 1 = región Norte, 2 = región Centro-norte, 3 = región Centro-sur, 4 = región Sur.	264
Figura 11.5.	Abundancia proporcional de los grupos de macrofauna en las seis zonas del OC-ZCEV. (AT: Atzalan, MI: Misantla, CO: Coatepec, CR: Córdoba, HU: Huatusco y ZO: Zongolica).	266
Figura 11.6.	Densidad de las especies de lombrices de tierra en las seis zonas del OC-ZCEV. (AT: Atzalan, MI: Misantla, CO: Coatepec, CR: Córdoba, HU: Huatusco y ZO: Zongolica).	267

Figura 11.7.	Densidad (a) y biomasa (b) promedio de la macrofauna total en regiones del OC-ZCEV. (AT MI: Atzalan-Misantla, CO: Coatepec, HU: Huatusco, CR ZO: Córdoba-Zongolica).	267
Figura 12.1.	Esquema del ciclo hidrológico del agua en el ecosistema.	281
Figura 12.2.	Mapa de la zona de estudio para el balance hidrológico, con las subcuencas de la Región Faja de Oro y los diferentes usos de suelo.	284
Figura 12.3.	Acercamiento al Mapa de Unidades Hidrológicas Territoriales (*UTR*).	286
Figura 12.4.	Prioridad de servicios hidrológicos en la zona de estudio.	295
Figura 12.5.	Mapa de zonas prioritarias en la provisión de servicios hidrológicos y las fincas de café que cumplen estas condiciones en el centro del estado de Veracruz.	296
Figura 13.1.	Esquema conceptual de modelo de captura de carbono, adaptado de Sáchelas *et al*. (2004).	315
Figura 13.2.	Esquema del sector producción de biomasa.	316
Figura 13.3.	Potencial de almacenamiento de carbono de una finca promedio en la ZCEV.	321
Figura 13.4.	Comparación de esquemas de aprovechamiento.	322
Figura 13.5.	Escenario de aforestación sin aprovechamiento.	323
Figura 13.6.	Comparación de escenarios de captura de carbono en un esquema de aforestación, sin aprovechamiento y con un aprovechamiento forestal.	324
Figura 13.7.	Prueba de sensibilidad para la capacidad de carga.	326
Figura 13.8.	Prueba se sensibilidad para la función de incremento anual.	327
Figura 14.1.	Síntomas aéreos de plantas infestadas por la corchosis de la raíz del cafeto: a. Planta joven de un año con síntomas de raquitismo, clorosis y deficiencias nutricionales, b. Plantas adultas mostrando síntomas de clorosis, deficiencias nutricionales, flacidez de hojas y defoliación (caída de hojas), c. Foco de infestación en el campo (primer plano).	339
Figura 14.2.	Síntomas en la raíz de plantas infestadas por la corchosis de la raíz del cafeto: a. Sistema radical de una planta de vivero con síntomas de hipertrofias corchosas en las raíces principales, b. Detalle de los síntomas de corchosis: engrosamientos corchosos en una raíz principal (flecha blanca) y nódulos en raíces jóvenes blancas (flechas rojas), c. Hembras de *Meloidogyne* sp. causantes de la corchosis con un aspecto globuloso blanco dentro de la parte corchosa de la raíz.	340
Figura 14.3.	Esquema de manejo integrado de nematodos en sistemas agroforestales de producción de café.	342
Figura 14.4.	Roya del cafeto: a. Cafetos defoliados, b. Pústulas de la roya del cafeto en el envés de las hojas, c. Soro con esporas (izq.), Uredosporas, 1000X (der.).	345

Figura 14.5.	*Atta mexicana:* a. Nido de hormiga arriera en cafetal, b. Hormigas cultivando el hongo simbionte, c. Gongilidios (estructuras modificadas del micelio) de *Leucoagaricus gonglyophorus*. 1000X.	349
Figura 14.6.	Hormigas reinas de *Atta mexicana* parasitadas con hongos entomopatógenos: a. *Beauveria bassiana,* b. *Metarhizium anisopliae*.	350
Figura 14.7.	Hongo cultivado por las hormigas arrieras: a. Inoculado con el micoparásito *Escovopsis weberi*, b. Conidióforos del hongo micoparásito 1000X.	350
Figura 14.8.	Trampas Etotrap y Ecoiapar utilizadas en la evaluación para la captura de broca del café en fincas de la región de Coatepec, Veracruz.	353
Figura 15.1.	Biodiversidad en los cafetales de la Zona Central montañosa de Veracruz.	368
Figura 15.2.	Flor del chalahuite (*Inga vera*), especie de árbol común en el sombreado de los cafetales del centro de Veracruz.	370
Figura 15.3.	*Tillandsia ionantha*. Bromelia epífita.	371
Figura 15.4.	*Polypodium rhodopleuron*, helecho con hojas jóvenes rojas.	372
Figura 15.5.	*Hypothenemus hampei* "broca del cafeto". Es una de las principales plagas del café, ya que sus larvas se alimentan barrenando las semillas.	374
Figura 15.6.	Tachinidae (Diptera). Estas moscas son uno de los grupos más importantes en los cafetales, al actuar como parasitoides de otros insectos.	375
Figura 15.7.	El género *Camponotus* (Hymenoptera, Formicidae) constituye uno de los grupos de hormigas con mayor número de especies presentes en los cafetales y el bosque.	376
Figura 15.8.	*Ecnomiohyla miotympanum* "ranita verde". Es una rana arborícola muy común en los cafetales y zonas alteradas; se reproduce en charcos y arroyos.	377
Figura 15.9.	*Trogon violaceus*, ave relativamente común en cafetales de sombra diversificada.	379
Figura 15.10.	*Philander opossum* "tlacuache cuatro ojos". Marsupial también conocido localmente como "chipe", es una especie rara que ha sido afectada por la destrucción de su hábitat.	381
Figura 15.11.	El murciélago frugívoro *Centurio senex* es un murciélago raro presente en las fincas de café, pero que puede ser abundante local y estacionalmente.	382
Figura 15.12.	*Glomus intraradices*. Especie endomicorrizógena muy abundante en las fincas con sombra especializada.	384

Índice de cuadros

		Pág.
Cuadro 1.1.	Esquema de estrategias de la red café sustentable. Catálogo de productos, actividades y principales desafíos.	18
Cuadro 2.1.	Variables climáticas, pendiente y altitud en las regiones cafetaleras de la ZCEV.	33
Cuadro 2.2.	Superficie del cafetal definiendo el tamaño de finca por estrato altitudinal.	35
Cuadro 2.3.	Número de productores por tamaño de finca y su distribución por estrato altitudinal.	36
Cuadro 2.4.	Esquemas de muestreo y algoritmo para calcular el número de entrevistas estructuradas a aplicar en la ZCEV.	38
Cuadro 3.1.	Factores y variables considerados en la entrevista estructurada.	59
Cuadro 3.2.	Variables cuantitativas consideradas para un análisis multivariado de datos.	60
Cuadro 3.3.	Frecuencia de las variables consideradas en la entrevista estructurada que caracterizan a cada subzona de la ZCEV.	62
Cuadro 3.4.	Pesos de los componentes que contribuyen en la definición de grupos de productores.	66
Cuadro 3.5.	Estadísticas descriptivas por grupo de productores en variables cualitativas.	69
Cuadro 3.6.	Desagregación de conteos por grupo de productores en variables categóricas.	72
Cuadro 3.7.	Relación de ingresos que se obtienen por café y el índice de fuentes del total de ingresos.	73
Cuadro 6.1.	Atributos estructurales de la vegetación arbórea en tres SAF-Café y una selva mediana subperennifolia.	134
Cuadro 6.2.	Especies con mayor valor de importancia (IVI) y forestal (IVF) por franja altitudinal y sistema en la Sierra de Atoyac, Veracruz.	138
Cuadro 6.3.	Riqueza e índices de diversidad de los sistemas estudiados en dos franjas altitudinales de la Sierra de Atoyac, Veracruz.	140
Cuadro 6.4.	Semejanza florística entre sistemas analizados.	141
Cuadro 6.5.	Resultados del análisis de correspondencia canónica para los tres primeros ejes de la ordenación.	142
Cuadro 7.1.	Nombre común y científico de especies con mayor frecuencia de mención por su presencia en fincas cafetaleras de la ZCEV.	155
Cuadro 7.2.	Valoración de la sombra y de la madera de 20 especies arbóreas presentes en la ZCEV.	156

Cuadro 7.3.	Usos mencionados para especies arbóreas en la ZCEV.	159
Cuadro 7.4.	Parámetros de las principales familias encontradas en la ZCEV.	159
Cuadro 7.5.	Especies con mayor importancia cultural en la ZCEV.	160
Cuadro 7.6.	Principales especies con mayor número de usos y frecuencia de mención.	161
Cuadro 8.1.	Jornales e inversión en insumos por hectárea empleados por los productores en los SAF-Café.	179
Cuadro 8.2.	Especies forestales y frutales arbóreas en los SAF-Café en su modalidad de policultivo tradicional.	181
Cuadro 8.3.	Análisis de muestras de suelo de tres SAF-Café.	183
Cuadro 8.4.	Densidades de población y rendimiento de las principales especies de tres SAF-Café en policultivo.	186
Cuadro 8.5.	Variables de manejo de cafetales y su peso por componente y varianza proporcional acumulada.	194
Cuadro 9.1.	Factores y niveles en un modelo de parcelas subdivididas con mediciones repetidas en distintos ciclos de cosecha.	205
Cuadro 9.2.	Valores de “F” y significancia estadística para tres variables.	209
Cuadro 9.3.	Relación café cereza-pergamino por especie de sombra y significancia conforme a la prueba de Tukey.	213
Cuadro 9.4.	Valores de “F” y su significancia estadística para cuatro variables dasonómicas del estrato arbóreo.	216
Cuadro 9.5.	Variables dasonómicas de las especies de sombra.	217
Cuadro 9.6.	Variables dasonómicas en los arreglos espaciales.	217
Cuadro 9.7.	Variables dasonómicas a través del tiempo.	218
Cuadro 9.8.	Prueba de Tukey-Kramer para altura y volumen de las especies de sombra bajo diferentes arreglos espaciales.	219
Cuadro 9.9.	Modelos ajustados del crecimiento de altura total por especie y arreglo en el SAF-Café.	222
Cuadro 9.10.	Asíntotas estimadas de crecimiento en altura de árboles.	222
Cuadro 9.11.	Modelos ajustados al crecimiento del diámetro normal por especie y arreglo del SAF-Café.	224
Cuadro 9.12.	Cálculo del volumen de madera de ixpepe en hilera sencilla.	226
Cuadro 10.1.	Efecto de la remoción de epífitas en la productividad de cafetos en La Orduña, Veracruz (promedio ± 1 EE), después de seis (2011) y 18 meses (2012) del destenche.	233
Cuadro 10.2.	Número de personas que asistieron a los talleres de capacitación por región cafetalera entre 2011 y 2012.	242

Cuadro 10.3.	Algunas especies e híbridos de orquídeas provenientes de cultivo *in vitro* y establecidas con éxito bajo condiciones de invernadero durante el proyecto "*Café In Red*".	245
Cuadro 10.4.	Protocolos de cultivo *in vitro* para incrementar la velocidad de crecimiento de plántulas de diferentes especies de orquídeas.	245
Cuadro 12.1.	Componentes naturales utilizados en la elaboración del balance hidrológico.	282
Cuadro 12.2.	Subcuencas comprendidas en la zona de estudio.	283
Cuadro 12.3.	Valores de ponderación de los factores del medio físico que intervienen en la infiltración del agua.	290
Cuadro 12.4.	Valores de capacidad de infiltración reclasificados y ponderados de diferentes grados de pendiente en la región.	290
Cuadro 12.5.	Valores de capacidad de intercepción de los diferentes tipos de uso de suelo y cobertura vegetal de la región.	291
Cuadro 12.6.	Valores de ponderación y clasificación de los suelos.	292
Cuadro 12.7.	Valores de permeabilidad de los tipos de suelo.	292
Cuadro 12.8.	Valores de ponderación y clasificación de los tipos de roca.	293
Cuadro 13.1.	Mortalidad en función de la biomasa relativa.	318
Cuadro 13.2.	Incremento de volumen en el fuste en función de la biomasa relativa.	319
Cuadro 13.3.	Especificación de la función de incremento anual para el análisis de sensibilidad.	328

Anexos

		Pág.
Anexo A.	Patrones generales de estructura poblacional de las principales especies arbóreas en la Sierra de Atoyac.	154
Anexo B.	Especies exclusivas por sistema en la Sierra de Atoyac.	154
Anexo C.	Índice de importancia cultural de especies arbóreas mencionadas en cinco regiones cafetaleras de la Zona Centro del Estado de Veracruz.	176
Anexo D.	Mapa de captación bruta de agua en la Faja de Oro. Arriba, la distribución espacial de la captación de agua en m/m^2 y abajo, la captación bruta de agua por polígono en m^3.	310
Anexo E.	Mapa de evapotranspiración del agua en la Faja de Oro.	311
Anexo F.	Mapa de captación neta de agua en la Faja de Oro.	312

Anexo G.	Mapa de pendientes de la Faja de Oro.	313
Anexo H.	Mapa de tipos de suelo en la Faja de Oro.	314
Anexo I.	Mapa de tipos de roca en la Faja de Oro.	315
Anexo J.	Mapa de infiltración de agua en la Faja de Oro.	316
Anexo K.	Mapa de escurrimiento superficial de agua en la Faja de Oro.	317

INTRODUCCIÓN

En México, el café se produce principalmente bajo sistemas tradicionales, que van desde plantaciones con sombra diversificada con base en árboles de la vegetación primaria, hasta policultivos simples o complejos con especies arbóreas frutales, forestales maderables o plátanos; también existen sistemas especializados con sombra monoespecífica. El cafetal con sombra diversificada, conserva parte de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas de vegetación primaria que fueron reemplazados con el cambio de uso del suelo, de forestal a agrícola. Los cafetales se destacan por su valor en la conservación de la diversidad biológica, su papel moderador de escurrimientos e infiltración del agua de lluvia, almacenamiento de carbono y conservación y mejoramiento de la fertilidad del suelo, por lo que la preservación de este tipo de agroecosistemas, debe ser una prioridad.

Las estrategias que más se implementan en los cafetales, son las relacionadas con la optimización de procesos de manejo, con énfasis en componentes tecnológicos que contemplen prácticas de diversificación productiva de las fincas de café, sobre todo en su estrato de sombreado. Lo anterior se debe a que los cafetales se caracterizan por sus bondades ambientales, lo que propicia la posibilidad de gestionar un mercado de servicios ambientales en pro de la cafeticultura nacional. Sin embargo, no se soslaya la importancia de aumentar los rendimientos y diligenciar su calidad en mercados especiales fuera de bolsa. Asímismo, con acciones gestoras y de base, desde un punto de vista sociocultural, podrían integrarse grupos informales de productores que funjan como una masa crítica donde se concentren esfuerzos de desarrollo, a fin de facilitar la transferencia horizontal de tecnología, y suscitar un proceso de difusión de conocimientos y saberes en torno al café. Además, podría activarse la realimentación hacia grupos de investigadores y agentes de cambio, para dar un enfoque puntual al quehacer científico y al servicio de extensión en toda la cadena agroindustrial café. Se esperaría que estas acciones reenfoquen esfuerzos que consideren los puntos de vista de los cafeticultores y las condiciones en que actualmente operan, para que en forma participativa se identifiquen oportunidades de investigación, servicios de capacitación y difusión cultural, así como la gestión de mercados.

Con base en un periodo de más de 35 años de investigación y acciones de transferencia de tecnología en el sistema-producto café, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), identificó la rentabilidad baja como problema núcleo de la cafeticultura en México. Ésta es ocasionada principalmente por tres factores: costos de producción altos, precios bajos "en la bolsa" o el mercado convencional de la materia prima, y productividad baja de la finca. Lo anterior está relacionado con cafetales establecidos en áreas marginales, fuera del espacio geográfico con potencial productivo alto, la adopción de tecnología limitada por la falta de capital de inversión, y sistemas de producción con prácticas de manejo y beneficiado postcosecha, no acordes con las demandas de calidad del mercado nacional e internacional.

Actualmente se realiza investigación en este aspecto por *Café In Red*, a través del proyecto: "**Consolidación de una red agroecológica intersectorial de innovación para lograr una cafeticultura sustentable en el centro del estado de Veracruz**", financiado por el fondo CONACyT-FORDECyT (proyecto: 139378), cuya misión es establecer bases transdisciplinarias de la ciencia que sustenten acciones de desarrollo, innovación y articulación de planes y propuestas para gestionar en red el conocimiento agroecológico, facilitar la competitividad y forjar la sustentabilidad de la cafeticultura en la Zona Centro del Estado de Veracruz (ZCEV), con fundamentos técnico-científicos. Asimismo, ante la problemática de la cafeticultura del país, se plantea una respuesta más integradora de factores ambientales y socioculturales, atenuándose la dispersión institucional respecto al sistema-producto café. El consorcio de instituciones que conforman *Café In Red*, tiene como visión contar con un plan rector de la cafeticultura, que sincronice políticas de los tres órdenes de gobierno en torno a la cadena de valor cafetalera y organizaciones de productores.

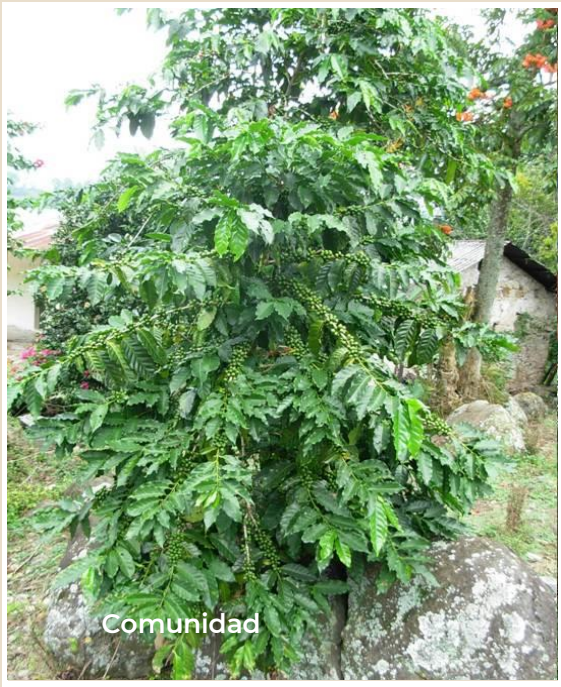
El paradigma de maximización de rendimientos de café cereza, en un contexto de cuotas de mercado y buenos precios, ha sido rebasado, ya que las prácticas insumistas tendientes al unicultivo de café a pleno sol, y su consecuente impacto ambiental, son socialmente inaceptables. Lo anterior da lugar al dilema de producir y conservar en pro de la rentabilidad de la cafeticultura, pero también propiciándose la conservación de la biodiversidad y preservándose los procesos agroecológicos propios de un sistema biodiverso, como lo es el cafetal bajo sombra. Con estos principios en el quehacer científico, académico y empresarial, se tiene como reto poner a la luz los atributos físicos, biológicos, sociales, culturales

y productivos de los cafetales en la ZCEV, de tal forma que se posibilite desarrollar un mercado de pago por servicios ambientales, certificar las buenas prácticas agrícolas y gestionar nichos de mercado para cafés diferenciados en el entorno geográfico cafetalero de México.

Café In Red mediante la sistematización de la experiencia obtenida a través del proyecto antes mencionado, documenta el conocimiento científicamente generado y el conocimiento local campesino registrado, y publica el presente libro técnico: "**DIAGNÓSTICO, PRODUCTIVIDAD Y AMBIENTE EN CAFETALES: estudios regionales y de caso".** En éste se expone inicialmente la investigación diagnóstica que tiene que ver con la problemática y potencialidades del subsector cafetalero en el entorno geográfico de la ZCEV. Posteriormente se abordan estudios sobre la cobertura vegetal arbórea y epífitas presentes en esta zona, así como casos de cosechas adyacentes al café cereza en la finca. Finalmente se expone el conocimiento biofísico que conlleva a documentar experiencias científicas relacionadas con las interacciones biótico-abióticas en el agroecosistema café. Toda la obra en sí, es un compendio de disciplinas agronómicas, biológicas, económico-administrativas y humanísticas que se conjuntan en aras de ofrecer conocimiento documentado para impulsar el mejoramiento de la cafeticultura, apoyar la toma de decisiones y aportar herramientas de políticas públicas a favor de la cafeticultura del país.

APARTADO I

Investigación diagnóstica



I. Proyecto *Café In Red* en la Zona Centro del Estado de Veracruz: proceso metodológico y resultados generales

Armando Contreras Hernández[1], María Luisa Osorio Rosales[1], Alejandro Ortega-Argueta[2]

[1]Investigador del Instituto de Ecología A.C. Red de Ambiente y Sustentabilidad.
armando.contreras@inecol.mx
[2]Investigador del Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa.

1.1. Introducción

La liberalización agrícola en América Latina, y en particular en México, llevó a los países a perder la seguridad alimentaria y debilitó la inversión en el sector agrícola. Los campesinos no recibieron incentivos y subsidios adecuados para enfrentar la apertura internacional de los mercados. En México, la producción para el autoconsumo y, en general, los alimentos producidos en el país, no pudieron integrarse a formas modernas de producción, con excepción de las hortalizas, algunos frutos y flores, cerveza y tequila, productos que en conjunto representan exportaciones con un valor de alrededor de 5 mil millones de dólares anuales, equivalentes al 80% de las exportaciones agropecuarias (Quintana, 2002). De esta manera, fue inevitable el impacto negativo en regiones campesinas que ahora viven en la pobreza y la marginación. Las políticas públicas agrarias no defendieron la salud social en el campo, repercutieron negativamente en las regiones agropecuarias y también impactaron las áreas naturales que contienen la mayor diversidad natural, sobre todo en territorios indígenas (Boege, 2008).

El café en México es un producto importante que ha padecido de los vaivenes tanto de productividad como de precios. Se cultiva en 806 mil hectáreas, de las cuales el 83% son cafetales bajo sombra, con productividad baja, de menos de ocho quintales por hectárea (Manson *et al*., 2008). El café ha sido el principal producto de exportación durante los últimos 25 años, y su importancia social queda de manifiesto al integrar 481 mil productores, en 4,557 comunidades de 12 estados de la república (UACH, 2005; Escamilla, 2007). La cafeticultura genera un promedio anual de 700 mil empleos, de los cuales dependen por lo menos 2.3 millones de personas (Nolasco, 1985; Moguel y Toledo, 1999). Nuestro país

ocupa el octavo lugar como productor mundial de café, al aportar el 4% de la oferta mundial. Los cafetales coinciden en altitud con los bosques templados, en particular con el bosque mesófilo de montaña (BMM) (Challenger, 1998). Varios estudios ecológicos evidencian que la estructura vegetal de los cafetales y otros sistemas agroforestales puede ser parecida a la del BMM, y por ello pueden albergar una gran diversidad de especies y proporcionar servicios ambientales (Perfecto *et al*., 1996; Moguel y Toledo, 1999; Schroth *et al.,* 2004; Manson *et al.,* 2008). La distribución de los cafetales en las partes altas de las cuencas los hace importantes por los servicios ambientales que suministran, y su mal manejo puede impactar negativamente en la captación y purificación de agua, el control de erosión de suelos y azolve de los ríos, así como la regulación de desastres naturales como deslaves e inundaciones (Stadtmüller y Agudelo, 1990; Myers, 1997; Bruijnzeel, 2001; Bubb *et al.,* 2004). Aunque el BMM ocupa menos del 1% de la superficie de México, contiene entre 10 y 12% de las especies de plantas y animales que existen en el país (Ramamoorthy *et al*., 1993; Rzedowski, 1996), por lo que es uno de los ecosistemas más importantes y amenazados.

En el contexto de la cafeticultura, existe el reto de cuantificar y valorar los servicios ambientales proporcionados por las fincas de café. Esto con el fin de generar recomendaciones de manejo que ayuden a bajar los costos de producción y diversificar las fuentes de ingreso para los productores (Manson *et al.,* 2008). Ante la crisis mundial del café, una opción para los cafeticultores fue la certificación del café para alcanzar mercados con mejor precio y más estables. Sin embargo, aún existen muchos retos e incertidumbre en el crecimiento de los mercados de café certificado (Gobbi, 2000; Rappole *et al*., 2003; Rice, 2004). Uno de los retos más destacables, es el de organizar a los pequeños productores para suscitar que estos puedan competir en los mercados de “conciencia” (comercio de calidad, orgánico, justo, etc.), y gestar su integración en una cooperativa u organización empresarial con infraestructura industrial y experiencia en la exportación, que son requisitos necesarios para cumplir con el sistema de certificación “Fairtrade Labelling Organizations International” (FLO), predominante en México.

Para comprender la regionalización de los sistemas de producción agrarios, es necesario reconocer los impactos generados por sus procesos de trabajo en el logro de productos, el uso de los recursos naturales y la organización social. Las

regiones cafetaleras de Veracruz se definieron hace más de dos décadas y actualmente no se conoce la forma en que la crisis del café ha modificado los entornos regionales de producción actual. Por lo anterior, es pertinente analizar la evolución de las regiones cafetaleras, y determinar si las regiones ya reconocidas se definen actualmente por características nuevas (Carton de Grammont y Tejeda, 1996). Hacen falta estudios interdisciplinarios sustentados en los marcos conceptuales de la agroecología y sociología rural, que ayuden a los productores a identificar y superar los retos asociados con el desarrollo de estrategias de manejo sustentables en el sector agrícola (Perfecto *et al*., 2005; Gordon *et al*., 2007).

1.2. Antecedentes

El proyecto Biocafé, antecesor del proyecto *Café In Red*, se realizó en el Instituto de Ecología A.C. entre los años 2003 y 2008. En este proyecto se estudiaron los cambios en la diversidad biológica de 13 grupos taxonómicos que habitan las fincas cafetaleras de la región central de Veracruz (Coatepec y Huatusco), a través de un enfoque multi-taxonómico, interdisciplinario y de múltiples escalas temporales y espaciales. En la caracterización geográfica de la región, se analizaron 18 fincas de café y tres fragmentos de BMM con el fin de aproximarse a un conocimiento integral del cafetal en Veracruz (Manson *et al.,* 2008). Además, se investigó el efecto de la existencia de un gradiente de intensificación del manejo de los cafetales sobre la capacidad de estos agroecosistemas para conservar la biodiversidad (Hernández-Martínez *et al.,* 2009). Se incluyeron también varios estudios sobre los cambios en el funcionamiento de estos agroecosistemas a través del monitoreo de servicios ambientales claves, proporcionados por las fincas (e. g. secuestro de carbono, polinizadores, captación de agua y mantenimiento de la fertilidad del suelo). Los aspectos de esta investigación se cubrieron trabajando directamente con los productores de café, mediante un modelo de investigación-acción (Bacon *et al*., 2005; Contreras y Hernández, 2008), con el propósito de generar conocimiento básico y aplicado a corto plazo, para mejorar el balance entre la conservación del patrimonio biológico de México y el bienestar socio-económico de los productores de café.

A partir del análisis del paisaje cafetalero se generaron nuevas interpretaciones de las unidades de producción, de las estrategias de manejo y de las formas de

enfrentar los retos económicos ante la crisis del precio del café. Se destaca que, en Veracruz, los potreros, cultivos y zonas urbanas ocupan el 72% de la superficie estatal, y sólo se mantiene un 8.8% de vegetación natural. En algunas zonas, la distribución del BMM fue remplazada por cafetales, y "la Faja de Oro de Café" es la masa arbolada continua más importante del estado. Este espacio geográfico ubicado en la Zona Centro del Estado de Veracruz (ZCEV) tiene la infraestructura y el potencial agroecológico suficiente para impulsar el desarrollo del sector cafetalero. Otras aportaciones importantes fueron los constantes intercambios con casi 300 participantes del proyecto, y el fortalecimiento de la autonomía de 12 organizaciones a través de 30 reuniones mensuales y nueve talleres (Contreras, 2008). Por otro lado, se considera que uno de los mayores logros del proyecto Biocafé fue la creación del Centro Agroecológico del Café, A.C. (CAFECOL), una institución privada conformada por productores e instituciones académicas. La misión del CAFECOL es contribuir al desarrollo e incremento de la competitividad y sustentabilidad de la cafeticultura en Veracruz a través de la transferencia de tecnología e información, investigación y desarrollo e integración de cadenas productivas, así como la formación de profesionales de alta competencia para este sector.

El inicio de actividades de CAFECOL estuvo apoyado por la Fundación Mexicana para la Innovación y Transferencia de Tecnología en la Pequeña y Mediana Empresa, A.C. (FUNTEC). Otro tema de relevancia para la competitividad de la cafeticultura fue el apoyo al cooperativismo agrario y las empresas privadas, impulsado por el Centro Internacional de Investigación, Innovación, Desarrollo y Transferencia de Tecnología Alfredo Cabañas CIIIDTTAC-FIICSA; en esta tarea, el diagnóstico mostró que las fincas de café tienen una conformación empresarial deficiente, los sistemas de gestión tienen productividad y competitividad bajas, los cafeticultores necesitan reforzar sus habilidades gerenciales, demostrar un liderazgo ético dentro del sector y asumir iniciativas en el fomento al valor agregado y coordinación entre las empresas del sector, para el logro de mayor competitividad en los ámbitos nacional e internacional. El proyecto Biocafé intentó una aproximación, a lo que Zermeño (2010) señala como "un conjunto de experiencias que construyen sociedad para fortalecer las instituciones locales". Con la experiencia del proyecto Biocafé, la formación del CAFECOL y la firma de un primer convenio de colaboración entre instituciones académicas, se formó un grupo líder, para la construcción del proyecto subsiguiente *Café In Red*. Se realizó una convocatoria entre académicos con los criterios siguientes: 1.

Tener una visión de red de colaboración con acuerdos de trabajo, 2. Asumir compromisos con responsabilidad y honestidad entre los actores sociales participantes, 3. Mostrar una disciplina en el trabajo, 4. Apreciar a los cafetales de forma integral, 5. Detentar un enfoque agroecológico, 6. Ser incluyente, diverso y actuar de forma intersectorial, 7. Fomentar la innovación, y 8. Fomentar un enfoque de sustentabilidad en las prácticas ecológicas, sociales y económicas de la cafeticultura. El grupo establecido analizó diferentes convocatorias, se acercó a los actores sociales y construyó los vínculos necesarios para echar a andar el proyecto. En el año 2010 se obtuvo el apoyo del Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FORDECyT) de CONACYT, con una aportación del 80%, y la contraparte del 20% fue aportada por el consorcio integrado por el INECOL, CAFECOL, CIIIDTTAC e INIFAP.

1.3. Los supuestos del trabajo en red

El fundamento metodológico del proyecto es el trabajo transdisciplinario (Morin, 1993; Nicolescu, 2008; Núñez *et al*., 2011), donde los actores sociales intervienen conforme a un objetivo común, lo cual considera la generación de información y su transferencia. El desarrollo de capacidades locales en pro de la conservación de los recursos naturales regionales, será resultado del interactuar de los miembros de la red y el fortalecimiento de la institucionalidad local. En suma, se propicia densificar la energía de la región a favor del bienestar colectivo incluyente y equitativo (Zermeño, 2010). Se incluyó en la red a miembros de diferentes regiones cafetaleras de Veracruz y de otros estados vecinos, con fines de alimentar, cooperar y mantener fuentes de información mediante acciones específicas, como son la comunicación sostenida a través de boletines de información e internet y el fomento de vínculos de colaboración con representantes gubernamentales federales (Sistema-Producto Café, Fondo Nacional Cafetalero y SINAREFI-SAGARPA) y de los estados cafetaleros, para que acompañen el trabajo de la red. De esta manera, se espera crear un efecto sinérgico donde la participación regional será crucial en el futuro de la red, ya que al finalizar el proyecto y una vez validados los resultados, se fomentará la transferencia de conocimientos y tecnología generados para propiciar la creación de otras redes.

Las investigaciones agroecológicas adquieren aún más significado si se contrastan con estudios de la dinámica social, estudios históricos, económicos, sociales y políticos de la región. Los integrantes de la red tienen la experiencia de haber desarrollado estudios disciplinarios. Para lograr mejores resultados se están incorporando enfoques integrales como el ordenamiento territorial, el manejo integrado de cuencas, el desarrollo de regiones medias y el fortalecimiento de capacidades locales de gestión; en suma, la cultura cafetalera. Todo esto con el fin de identificar las mejores formas extractivas del capital y las estrategias locales que posibilitan relaciones más equilibradas entre los monopolios externos, las burguesías regionales y los procesos locales. Con esto se quiere demostrar que la investigación es una buena inversión de mediano y largo plazo (Drucker, 2010) para regiones como la Faja de Oro de Café que, prácticamente, está en el abandono al igual que el resto del campo mexicano (Carton de Grammont, 2005). En el corto plazo, la investigación-acción y la participación social pueden ser la palanca para incidir en la reorganización regional.

1.4. Descripción de *Café In Red*

El objetivo general del proyecto *Café In Red* es consolidar una red estratégica de grupos de productores, centros de investigación e instancias gubernamentales para la región Faja de Oro en Veracruz. Los objetivos específicos son: 1. Fomentar un nuevo clúster de innovación con su propio sistema de inteligencia para el desarrollo de capacidades agroecológicas, dirigidas a la producción diversificada y sustentable de café de calidad, 2. Identificar nichos especializados de mercado y autosuficiencia alimentaria, y 3. Apoyar la conservación y restauración de los ecosistemas naturales mediante el establecimiento de estrategias de pagos por servicios ambientales y propuestas de políticas públicas, que mejoren las condiciones de vida de los cafeticultores. El proyecto está conformado por cinco estrategias operativas, mismas que se describen brevemente a continuación.

1. Sistema de inteligencia (SIGCAFÉ)

Busca consolidar una red agroecológica para la reorganización y articulación del sector cafetalero que impulse el desarrollo a través de su Sistema de Inteligencia

(SI); sus funciones son: a) la organización del grupo operativo, b) diseñar un modelo de regionalización que favorezca la producción de café de calidad con bases agroecológicas y la investigación participativa, c) difundir las propuestas de las líneas estratégicas de la red para la conservación ambiental y la producción sustentable, en el marco de gestión de las cuencas hidrológicas, el fomento de los servicios ambientales y la conservación de la biodiversidad, d) indagar el impacto ambiental de los agroecosistemas cafetaleros e integrarlos a un sistema de información geográfica, e) elaborar propuestas de política pública en los tres órdenes de gobierno, f) dinamizar los procesos locales que mejoren las condiciones de vida de los participantes, con énfasis en las clases más vulnerables de la cadena de valor cafetalera, y g) desarrollar un programa de cultura cafetalera.

2. Servicios ambientales de cafetales (SACAF)

Espera fomentar la cuantificación, valoración y conservación de los servicios ambientales proporcionados por fincas de café de sombra en el centro de Veracruz, con el fin de: a) promover y facilitar la gestión de Pagos por Servicios Ambientales (PSA), b) facilitar la participación de los productores de café en los nuevos nichos de mercados certificados que ofrecen precios más elevados y estables, así como mayores tasas de crecimiento que los mercados tradicionales, c) contribuir con información científica y técnica para las propuestas de ordenamiento territorial, cambio climático y conservación del ambiente, y d) contribuir con capacitación, eventos demostrativos y acciones de investigación aplicada en temas como fertilidad del suelo, contaminación de aguas por el beneficiado postcosecha del café, evaluación de los servicios ambientales (polinización del cafeto, secuestro de carbono en las fincas, zonas hidrológicas claves y remanentes de vegetación natural de BMM), certificaciones tipo “sello verde”, y mejoramiento del sistema de manejo integral de plagas.

3. Sistemas agroforestales en cafetales (AGROCAF)

En esta estrategia se aplican principios agroecológicos y socioeconómicos para el manejo de fincas de café bajo sistemas agroforestales. Se espera generar indicadores de tipo experimental e incorporar las experiencias técnicas de productores y organizaciones sociales para el logro de cafetales diversificados

en sistemas rústicos y en policultivo; asimismo, reunir la información disponible (técnica-científica y conocimientos campesinos) y realizar estudios para precisar las recomendaciones de cómo lograr una diversificación productiva de cafetales bajo sistemas agroforestales, que colateralmente preserven germoplasma forestal local. Estas acciones tienen como fin fomentar la sustentabilidad alimentaria y ampliar el número de productos generados por las fincas de café, incluyendo la madera, leña, plantas epífitas de ornato (orquídeas, bromelias, helechos), frutas, palmilla, entre otras.

4. Cadenas productivas del café (CADECAF)

Esta estrategia integra las cadenas de producción, procesamiento y comercialización del café, mediante un sistema de trazabilidad para el desarrollo de café sustentable y de alta calidad. Para esto se han identificado los grupos de trabajo (colaboradores de la red) formados por pequeños y medianos productores de café que establezcan alianzas financieras y comerciales. Con esto se espera generar información sobre el comportamiento del mercado regional, agregar valor al producto, diferenciarlo estratégicamente y desarrollar nuevas marcas y canales de comercialización y distribución. Esto podría dar ventajas al clúster y ayudar a proyectarlo tanto a nivel nacional como internacional. Se espera además generar y difundir un modelo de innovación y gobernabilidad para el grupo que pueda ser referencia en el desarrollo de una política pública para el sector cafetalero.

5. Desarrollo empresarial y de la cultura del café (EMPRECAF)

Una tarea importante es realizar diagnósticos empresariales de las fincas cafetaleras de la región para: a) impulsar la incubación de "emprendimientos rurales de innovación", b) transferir tecnología pertinente, tanto en materia de organización y certificación como en ecotecnias y procesos industriales, c) apoyar la incubación de empresas integradoras que sean necesarias para generar eficiencias colectivas, economías de escala y de aglomeración en la región, y d) promover el desarrollo de planes de negocio e inversión, así como planes estratégicos entre los grupos participantes. Por otro lado, esta estrategia busca fortalecer la cultura cafetalera como una forma de articular la vida cotidiana entre sus actores -niños, jóvenes, mujeres y hombres- dedicados al café. Buscándose rescatar los conocimientos ancestrales y reconocer los

procesos globalizados del café. Por ello, la red pretende mostrar la historia local, el valor del trabajo y las formas estéticas de interpretar la organización y los cafetales, a la vez que se proyectan las luchas sociales históricas, se recogen las demandas de los grupos sociales y se discute el futuro, revalorándose a los trabajadores del café en la sociedad actual. Estos propósitos se lograrán a través de la educación popular no formal.

1.5. Resultados de *Café In Red*

La primera fase de ejecución se caracterizó por la integración de conocimientos locales, experiencias tácitas y explícitas, capacidades, recursos y necesidades, comprendiendo la serie de actividades programadas en las cinco estrategias. Las actividades fueron: un diagnóstico integral, diseño de experimentos, desarrollo de capacidades humanas e institucionales, transferencia de tecnología, y reorganización productiva. La red en operación interviene coordinadamente con los diferentes actores: productores, empresarios, académicos y representantes de gobierno. Los equipos de trabajo, además de atender los objetivos de investigación, contribuyen al sistema de inteligencia con informes de trabajo, documentos de casos exitosos y propuestas. A su vez, los equipos de comunicación elaboran los despachos, informes y boletines que de manera ágil y oportuna se distribuyen para enlazar a los integrantes de la red. Por su parte, las organizaciones, municipios y actores de la cadena de café analizan la información recibida, la distribuyen en su entorno inmediato y la retornan al centro de inteligencia. El diagnóstico integral se abocó a sentar las bases para el centro de inteligencia con las tareas de recolección de información, sistematización y comunicación, que permiten un monitoreo continuo del territorio. El principal desafío ha sido habilitar el soporte informático y técnico para operar la red. Aun sin ello, se tienen los registros de los equipos de trabajo, el contacto con nuestras organizaciones y el equipo de enlace entre las instituciones académicas y las fincas de estudio.

Una de las ventajas de las redes es el soporte tecnológico y la capacidad de registro y documentación de las experiencias. En nuestro caso, las experiencias documentadas son analizadas por un equipo de evaluadores que registra y supervisa de forma continua el desempeño del proyecto. Una esquematización del modelo de funcionamiento de la red, se presenta en la Figura 1.1.

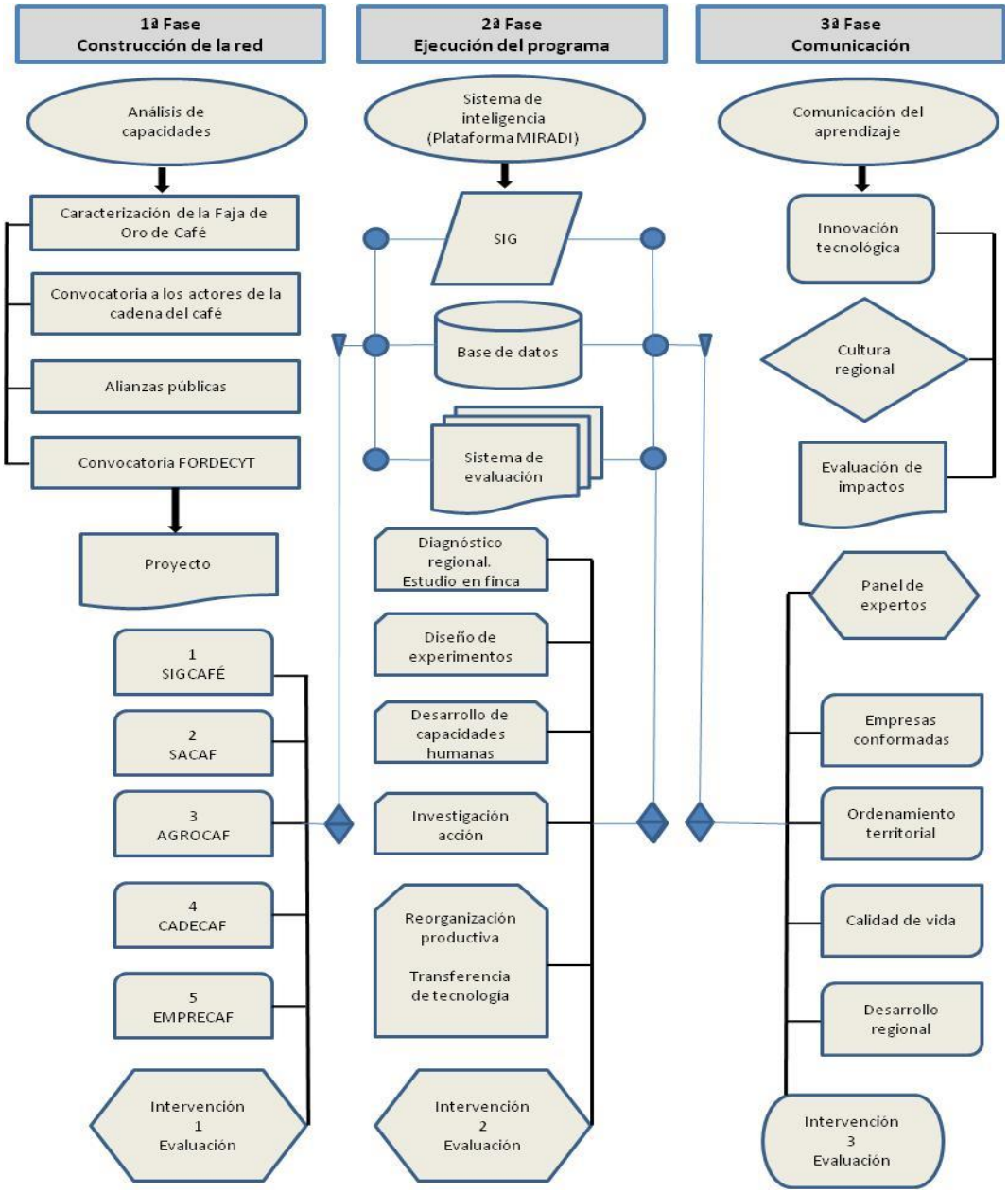


Figura 1.1. Esquema metodológico donde en una primera fase se indican las cinco estrategias del proyecto.

Donde la tercera fase enfatiza un proceso de comunicación del aprendizaje, en donde se dan a conocer las innovaciones tecnológicas, tomando en cuenta la cultura regional y evaluando impactos en distintos niveles y entornos. Lo anterior coadyuva para que finalmente se perciba el desarrollo regional, y en específico de la cafeticultura, en la manifestación de una mejor calidad de vida de las familias productoras de café. Esta calidad de vida como aspiración humana de todos los tiempos, tiene que ver con la conciencia colectiva de hechos ambientales y ecológicos, y con la preocupación sobre aspectos cualitativos de la vida cotidiana, que el nivel de ingreso de las familias por sí sólo no puede asegurar. Así, la articulación de estos aspectos que conlleva al bienestar humano en armonía, constituye el núcleo central de la concepción de calidad de vida (Bobes *et al*., 1993), mismo que el proyecto asume en su trabajo transdisciplinario y trata de transmitirlo a los cafeticultores y sus familias.

El diseño de experimentos agroecológicos requirió de trabajo de campo, para lo cual se iniciaron doce estudios que están generando nuevos datos del territorio. La investigación está canalizada a dos áreas: una sobre la diversificación de la producción y los mercados de café, y la otra sobre pagos por servicios ambientales en fincas de café de sombra. Los hallazgos realimentan al sistema de inteligencia, y son revisados por los actores en el territorio, en un ciclo de aprendizaje continuo. Para apoyar la comunicación se realizan reuniones del grupo coordinador y operativo del proyecto, se elaboran y distribuyen despachos informativos, vía reuniones presenciales y a través de una página web. Estas vías también son utilizadas para enviar comunicados del proyecto a la región, a representantes de otros estados productores de café, a las instituciones del sector y a la coordinación con la cadena de ventas. Desde las fincas se reciben propuestas, sugerencias y necesidades que son discutidas en la comunidad, en reuniones con las organizaciones locales y regionales, y con el grupo operativo del proyecto (Figura 1.2).

Figura 1.2. Diagrama esquematizado del funcionamiento del Centro de Inteligencia.

El desarrollo de capacidades humanas e institucionales se fomentó mediante cursos y talleres facilitadores de conocimiento y generadores de modelos de aprendizaje multisectorial. La red se enfocó a compartir, sustentable y transdisciplinariamente, la cultura del café entre académicos, productores, técnicos y estudiantes. La transferencia de tecnología está ligada con los procesos productivos y su incremento competitivo. Se aplican nuevos paquetes tecnológicos y proyectos demostrativos en la región que permitan comparar calidades homogéneas, validar las productividades esperadas, integrar la cadena de valor y mejorar los precios de los productos y servicios. Se busca organizar nuevos modelos de gestión que permitan sistematizar socialmente el desempeño de la región y elevar la escala de las acciones en el territorio. El desarrollo y adopción de buenas prácticas es crucial para lograr los objetivos del proyecto. Para esto, la red se aboca a conocer, probar y replicar los esquemas de organización, producción y comercialización exitosos.

Se está en proceso de una reorganización productiva que será fundamentada en los diagnósticos empresariales, las capacitaciones y los talleres. Se evaluarán cuidadosamente los logros del sistema de innovación regional en el clúster cafetalero, tomándose en cuenta que la falta de recursos económicos para financiar el cultivo de café es una de las razones del abandono de las fincas y del sector en general. Las organizaciones de productores pondrán en práctica sus valores agregados diferenciados directamente en el mercado y la región, además de los recursos adicionales como su cultura, su potencial y sus productos de especialidad. Con esta diversificación productiva se espera que complementen los ingresos y se mejore el bienestar regional.

Por último, conviene señalar que la red monitorea continuamente el cumplimiento de metas y actividades planteadas, los productos comprometidos y los impactos esperados. Nuestro catálogo de resultados incluye 44 productos (Cuadro 1.1). El proyecto tiene una evaluación permanente. Se ha socializado el proyecto en todos los ámbitos, organizándose un foro intersectorial al inicio del proyecto y celebrándose un segundo foro al término, para comunicar los principales logros y experiencias. También, con las acciones del proyecto en referencia, desde un punto de vista sociocultural, se integrarán grupos informales de productores conformantes de masas críticas que faciliten la transferencia horizontal del conocimiento generado en torno a la cafeticultura de la Zona Centro del Estado de Veracruz (Faja de Oro). Con lo anterior se ocasionará un reenfoque de esfuerzos, al contemplarse puntos de vista de los productores y las condiciones en que actualmente operan, a fin de contar con mayor percepción acerca de las oportunidades de investigación, capacitación y difusión cultural en torno a mercados y su relación con la calidad distintiva del café veracruzano y del país.

CUADRO 1.1. ESQUEMA DE ESTRATEGIAS DE LA RED CAFÉ SUSTENTABLE. CATÁLOGO DE PRODUCTOS, ACTIVIDADES Y PRINCIPALES DESAFÍOS.

ESTRA-TEGIA	PRODUCTOS	ACTIVIDADES	DESAFIOS
SIGCAFÉ	Red operativa, bases de datos, sistema de información geográfica (SIG), reuniones mensuales con productores, memoria del trabajo, sistema de inteligencia, despachos, boletines, página web, foros de discusión, talleres de planeación y evaluación, producción científica, laboratorio de catación, parcelas experimentales, informes de políticas públicas, participación en congresos.	Se organizó la red. Se integraron los equipos de participantes. Se conformó el secretariado para coordinar las cinco estrategias. Cada estrategia reporta los avances de sus actividades a un coordinador. Se estableció el observatorio cafetalero, una red de 59 fincas experimentales.	La aportación financiera representa una causal de incertidumbre a las instituciones desde el punto de vista presupuestal, al grado que una institución declinó su participación y hubo que hacer una restructuración del proyecto.
SACAF	Bases de datos, SIG, talleres de capacitación, publicación de manuales, desarrollo de investigación aplicada, producción científica, incremento de colecciones científicas, formación de recursos humanos.	Se fijaron los criterios para compartir las bases de datos, generar el SIG compatible con las fuentes actualizadas de información. Se evalúan los impactos ecológicos y se construye la propuesta para el esquema de pago por servicios ambientales (PSA).	La mejora de la coordinación entre dependencias, representa retos en cuanto a fuentes financieras y productores para mejorar los criterios de PSA.
AGROCAF	Bases de datos, SIG, publicación de libros técnicos, talleres de capacitación, producción de manuales, producción científica, estudios forestales, construcción y operación de viveros, participación en congresos, tesis.	Se elaboran las propuestas para la diversificación productiva. Se montaron los experimentos y se toman datos de campo.	Los cambios climáticos impredecibles en los ciclos naturales dificultan la obtención de datos concluyentes.

CUADRO 1.1. ESQUEMA DE ESTRATEGIAS DE LA RED CAFÉ SUSTENTABLE. CATÁLOGO DE PRODUCTOS, ACTIVIDADES Y PRINCIPALES DESAFÍOS.

ESTRA-TEGIA	PRODUCTOS	ACTIVIDADES	DESAFIOS
CADECAF	SIG, talleres de sensibilización para reforzar la cultura cafetalera, organización de grupos productivos, publicación de libros, página web, encuentros de productores, capacitación, manuales, tesis, gobernanza, alianzas financieras, mejora del precio del café, bolsa de producto, certificación de origen, creación de marcas locales.	Se trabaja en la difusión de las estrategias de producción, colaboración y uso de información de la red. Se evalúa la capacidad de participación de las organizaciones y se preparan las condiciones para lograr alianzas colectivas duraderas.	Los problemas para negociar los apoyos a la producción del café limitan la participación colectiva. Lograr la confianza entre productores y la red requiere de más tiempo; existe una división entre las asociaciones por su afiliación política. Los productores están acostumbrados al asistencialismo.
EMPRECAF	Diagnósticos empresariales, publicación de libros, registro audiovisual de las reuniones con productores, producción de radionovela y videoclip, talleres infantiles, teatro, exposiciones fotográficas, encuentros de tradición oral, talleres de capacitación, manuales, comercio de café, apoyo a tesis estudiantiles.	Apoyo a la inversión en infraestructura básica demandado por empresas (privadas y sociales), capacitación y promoción de tecnología. La coordinación de los estudios y los ciclos de producción requieren de esfuerzos de colaboración.	La participación de fuentes financieras y su continuidad es indispensable para aplicar soluciones de corto, mediano y largo plazos para atender los problemas detectados. Impulsar la cultura del café requiere de gran inversión de tiempo y los logros son de mediano y largo plazo.

1.6. Consideraciones finales

Después de los esfuerzos realizados en el diseño de la red y los apoyos financieros logrados para su ejecución, se tiene la convicción de trabajar junto con los actores de la cadena productiva del café. Por ahora son múltiples los desafíos enfrentados en los primeros dos años del proyecto. Es necesario tener apertura para adaptarse a nuevas formas de trabajo colaborativo, recibiéndose propuestas y aplicándose iniciativas inéditas.

El grupo de colaboradores del proyecto se ocupa en consolidar una organización para mejorar el precio del café y facilitar los procesos colaborativos, a la vez que interviene en la situación del relevo generacional con la infancia y la juventud de los cafetaleros. Se sabe que, sin empleos dignos y estables, no será posible la substitución de los talentos de gran experiencia por jóvenes preparados para el trabajo en el campo. Para el futuro, el reto será lograr que la red funcione después del apoyo financiero del FORDECYT, con recursos institucionales renovados y con aportaciones de los propios productores de café. En este sentido, la red tiene el reto de buscar el relevo necesario que, con humildad y paciencia, entienda los éxitos y fracasos en el campo del México contemporáneo.

Literatura citada

Bacon, C., V. Méndez y M. Brown. 2005. Participatory action-research and support for community development and conservation: examples from shade coffee landscapes of El Salvador and Nicaragua. Research Brief Num. 6. Center for Agroecology and Sustainable Food Systems. University of California. Santa Cruz, CA, USA. 12 p.

Bobes, J., P. González, M. Bousoño y E. Suárez R. 1993. Desarrollo histórico del concepto de calidad de vida. Monografías de Psiquiatría 5(6):5-9.

Boege, E. 2008. El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México: hacia la conservación *In situ* de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. México, D. F. 342 p.

Bruijnzeel, L. A. 2001. Hydrology of tropical montane cloud forests: a reassessment. Land Use and Water Resources Research 1(1):1-18.

Bubb, P., I. May, L. Miles and J. Sayer. 2004. Cloud forest agenda. UNEP-WCMC. Cambridge, UK, England. 36 p.

Carton de Grammont, H. 2005. Del desarrollo interno a la globalización: las transformaciones del campo mexicano. [CD-ROM]. *In:* Memorias del V Congreso de la Asociación Mexicana de Estudios Rurales. Oaxaca, México.

Carton de Grammont, H. y H. Tejera G.1996. Los Nuevos actores sociales y procesos políticos en el campo. 360p *In*: Tejera, G. H., C. de Grammont B. y H. Francis M. (eds.). Serie: La Sociedad Rural Mexicana Frente al Nuevo Milenio. Vol. IV. UNAM. Instituto de Investigaciones Sociales: Plaza y Valdés. México, D. F.

Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. UNAM. Instituto de Biología. México, D. F. 847 p.

Contreras, A. 2008. Retos en la organización de un proyecto de investigación-acción. p. 35-54. *In*: Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto Nacional de Ecología. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Ver., México.

Contreras, A. y G. Hernández-Martínez. 2008. ¡Qué bien huele, mejor sabrá! La organización de productores del proyecto Biocafé. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Ver., México. 91 p.

Drucker, R. 2010. Urge más ciencia y la tecnología: UNAM. El Universal abril 22. http://archivo.eluniversal.com.mx/articulos/58326.html [consultado el 25 de mayo de 2013].

Escamilla, P. E. 2007. Influencia de los factores ambientales, genéticos, agronómicos y sociales en la calidad del café orgánico en México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Ver., México. 254 p.

Gobbi, J. 2000. Is biodiversity-friendly coffee financially viable? An analysis of five different coffee production systems in western El Salvador. Ecological Economics 33(2):267-281.

Gordon, C., R. Manson, J. Sundberg and A. Cruz-Angón. 2007. Biodiversity, profitability, and vegetation structure in coffee agroecosystems of central Veracruz, México. Agriculture, Ecosystems and Environment 118(1):256-266.

Hernández-Martínez, G., R. Manson and A. Contreras-Hernández. 2009. Quantitative classification of coffee agroecosystems spanning a range of production intensities in central Veracruz, México. Agriculture, Ecosystems and Environmental 134(1):89-98.

Manson, R. H., A. Contreras H. y F. López B. 2008. Estudios de la biodiversidad en cafetales. p. 1-14. *In*: Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto Nacional de Ecología. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Ver., México.

Moguel, P. and V. M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of México. Conservation Biology 13(1):11-21.

Morin, E. y A. Brigitte. 1993. Tierra patria. Kairós. Barcelona, España. 232 p.

Myers, N. 1997. The world's forests and their ecosystem services. p. 215-235. *In*: Daily, G. C. (ed.). Natures Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press. Washington, DC, USA.

Nicolescu, B. 2008. Transdisciplinarity - theory and practice. Hampton Press. Cresskill, New Jersey, USA. 320 p.

Nolasco, M. 1985. Café y sociedad en México. Centro de Ecodesarrollo. México, D. F. 454 p.

Núñez, C., I. Rehaag, A. Sánchez y E. Vargas. 2011. Transdisciplinariedad y sostenibilidad: encuentro con Basarab Nicolescu. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 119 p.

Perfecto, I., J. Vandermeer, A. Mas and L. Soto-Pinto. 2005. Biodiversity, yield and shade coffee certification. Ecological Economics 54(4):435-446.

Perfecto, I., R. Rice, R. Greenburg and M. Van der Voort. 1996. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. Bioscience 46(8):598-608.

Quintana, V. 2002. "Saldos del TLCAN". La Jornada diciembre 31. http://www.jornada.unam.mx/2002/12/31/017a1eco.php?printver=1 [consultado el 25 de mayo de 2013].

Ramamoorthy, T., R. Bye, A. Lot and J. Fa. 1993. Biological diversity of México: Origins and distribution. Oxford University Press. New York, USA. 812 p.

Rappole, J., D. King and J. Vega. 2003. Coffee and conservation. Conservation Biology 17(1):334-336.

Rice, R. 2004. Noble goals and challenging terrain: Organic and fair trade coffee movements in the global marketplace. Journal of Agricultural and Environmental Ethics 14(1):39-66.

Rzedowski, J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. Acta Botánica Mexicana 35:25-44.

Schroth, G., G. Fonseca, C. Harvey, C. Gascon, H. Vasconcelos and A. Izac. 2004. Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. Island Press. Washington, DC, USA. 523 p.

Stadtmüller, T. and N. Agudelo. 1990. Amounts and variability of cloud moisture input in a tropical cloud forest. International Association of Hydrological Sciences. 193:25-32.

UACh (Universidad Autónoma Chapingo). 2005. Acciones de fomento productivo y mejoramiento de la calidad del café en México, 2004. Evaluación nacional externa. Universidad Autónoma Chapingo (CRUO-CENIDERCAFE). SAGARPA. Consejo Mexicano del Café. Huatusco, Ver., México. 104 p.

Zermeño, S. 2010. Reconstruir a México en el siglo XXI: estrategias para mejorar la calidad de vida y enfrentar la destrucción del medio ambiente. Ed. Océano. México, D. F. 298 p.

II. Ordenamiento e implementación de un Observatorio Cafetalero en la Zona Centro del Estado de Veracruz (OC-ZCEV)

Rafael Alberto Guajardo Panes[1], Gabriel Díaz Padilla[1], Rosalío López Morgado[2], Robert Hunter Manson[3], Gerardo Hernández Martínez[4]

[1] Investigador del Programa de Agrometeorología y Modelaje del INIFAP. guajardo.rafael@inifap.gob.mx
[2] Investigador del Programa de Cultivos Industriales Perennes del INIFAP.
[3] Investigador del Instituto de Ecología A.C., Red de Ecología Funcional.
[4] Centro Agroecológico del Café, A.C. Investigación-Desarrollo.

2.1. Introducción

En el estado de Veracruz, el 98.1% de los cafeticultores poseen desde menos de media hectárea, hasta 5 hectáreas; ellos cultivan el 57.4% de la superficie estatal, y de manera estimada, contribuyen con casi la mitad del café que se produce en el estado (cifras calculadas, con base en el padrón cafetalero manejado por ASERCA).

Una de las razones del bajo impacto que la investigación agrícola ha tenido en el trópico, se debe a que en muchos casos se ha adoptado la base conceptual usada por la investigación en zonas templadas, cuyo fundamento ecológico-agronómico es la relación entre una población vegetal y los factores ambientales que la afectan. Sin embargo, un 70% de la agricultura en el trópico está basada en la biodiversidad, donde el pequeño agricultor maneja un complejo de cultivos en interacción mutua, no sólo entre las especies, sino también entre éstas y su medio físico y biótico (Hart, 1979). Otra causa de la baja adopción de tecnologías responde al hecho de una investigación agrícola basada en acciones verticales, donde predomina la intuición del investigador sobre las líneas de investigación a desarrollar (Castillo, 1992; Hernández *et al*., 2000). Por las razones anteriores se genera tecnología agrícola sin la participación de los productores, lo cual ocasiona que en la mayoría de los casos no se responda a las necesidades reales de la problemática en la agricultura local o regional (Barrera, 2002; Barrera y Jarquín, 2002).

Muchas veces, el rechazo a innovaciones tecnológicas acontece debido a la escasez de metodologías efectivas, que involucren a la gente en la identificación y desarrollo de la tecnología apropiada, basada en sus necesidades sentidas, problemática percibida, oportunidades de progreso visionadas y en sus formas muy particulares de aprovechamiento de los recursos por la comunidad (Anyaegbunam *et al*., 2008). También, el validar innovaciones tecnológicas antes de difundirlas, se sustenta en las diferencias que existen entre los sistemas de producción de los pequeños productores y el modelo clásico de investigación en la estación experimental. Los sistemas de producción y los criterios y prioridades de los pequeños productores respecto a su finca, así como las relaciones de ésta con el entorno, son por lo general desconocidas e inmanejables por los investigadores; es decir, la realidad campesina no es posible simularla y el trabajo debe de realizarse dentro de su contexto (Radulovich y Karremans, 1993), observándose en tiempo real los beneficios potenciales, la adaptabilidad y la transferibilidad de innovaciones tecnológicas promisorias.

Sin embargo, la investigación en campos experimentales es necesaria, ya que los procesos y ambientes controlados son útiles para explicar aspectos biofísicos en la generación de innovaciones tecnológicas. De esta manera se postula una validación de tecnologías en etapas más tempranas del proceso de investigación, facilitándose así la pronta participación de los cafeticultores en la difusión horizontal del conocimiento (Tripp y Wolley, 1989; Vejarano, 1991; IICA, 1996; Bentley y Baker, 2002; Anyaegbunam *et al*., 2008). Lo anterior generará por proceso, la realimentación de la investigación manejada por investigadores, tanto en campos experimentales, como en fincas de productores (Radulovich y Karremans, 1993).

Los periodos de precios bajos del café quebrantan la estructura familiar de estos pequeños cafeticultores, resultando en casos frecuentes en que los jóvenes abandonan sus comunidades en busca de alternativas y oportunidades, ya sea en las grandes ciudades del país o emigrando al extranjero (Ávila *et al*., 2005). Debido a que los cafeticultores veracruzanos, tomadores de decisiones con respecto a las unidades de producción, tienen como edad promedio más de 50 años (López *et al*., 2004), están arraigados de manera obligada a su tierra, viéndose comprometidos a buscar alternativas para hacer rentables sus fincas, aun con precios bajos del café. En estas circunstancias, es prioritario generar

tecnología apropiada para la pequeña cafeticultura y generar respuestas a las demandas tecnológicas de estos miles de pequeños productores en superficies altamente divididas de cafetales bajo sombra (López y Contreras, 1998). Con base en lo anterior, se implementó el Observatorio Cafetalero de la Zona Centro del Estado de Veracruz (OC-ZCEV), como parte de un proceso metodológico generador de conocimiento en una secuencia paulatina, a través de investigación en fincas; este proceso se conoce como investigación-acción con participación de productores. Los investigadores colaboradores en el proyecto, concentraron sus esfuerzos en los cafetales del OC-ZCEV para mayor entendimiento, en el mediano plazo, de las interacciones bióticas y abióticas, de por sí complejas en estos agroecosistemas.

El OC-ZCEV, como factor metodológico del proceso de intervención regional por parte de *Café In Red*, se apoyó en las premisas que implican la participación de los productores en las distintas estrategias de investigación-innovación. De esta forma se registra un desarrollo de investigación-acción, donde la finca del OC-ZCEV funge como la "Unidad de Interacción", de saberes y ciencia, realizándose investigaciones puntuales entre los productores y sus familias con los operadores y facilitadores de las distintas acciones en la ZCEV.

2.2. Antecedentes

Investigación-experimentación en fincas de productores

El diagnóstico de las condiciones en que operan los agricultores y las prácticas agrícolas en sus sistemas de producción, además de la problemática que confrontan, es el comienzo del proceso de investigación en fincas de productores, para que, a partir de un contexto conocido, se tenga claridad del problema a resolver y el proceso metodológico más apropiado para el logro de respuestas adecuadas. La consideración de ensayos bajo condiciones y posibilidades de manejo del agricultor, tendrán que ser evaluados utilizando criterios y atributos que son de importancia para los agricultores, lográndose así recomendaciones que contemplan cierto grado de apropiación (Tripp y Wolley, 1989). Estos ensayos en fincas de productores requieren de diseño apropiado (Pedroza, 2007), ya que las condiciones son menos controladas en comparación a las de una institución de investigación. Sobre todo, porque el agricultor deberá

involucrarse de manera categóricamente notable, en experimentos que implican cambios planificados, a fin de responder a interrogantes identificadas en los diagnósticos (Sánchez, 1995).

Los enfoques de impulso al desarrollo rural, que empezaron con la Revolución Verde a mediados de los 70, en los últimos 20 años han contemplado tecnologías relacionadas con la agricultura sostenible, misma que por ejemplo, incluye el manejo integrado de plagas, que requerirá de mayor cantidad de información y conocimiento por parte del agricultor, a fin de evitar dependencia extrema de agroquímicos, minimizando impactos ambientales y priorizando la salud de las personas, sin poner en riesgo la seguridad alimentaria (Orrego *et al*., 2009). Una alternativa a estos enfoques de agricultura sostenible lo son las Escuelas de Campo y Experimentación para Agricultores (ECEA's), que representan un modelo de formación de cuadros técnicos locales que, a su vez, en sus localidades, forman a sus compañeros productores (Jarquín, 2010). El modelo teórico ECEA, incluye un componente de formación y otro de experimentación campesina, ambos complementarios e incluyentes. La formación de promotores, se realiza mediante un proceso modular, durante ciclos de un año, de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo, bajo el principio de "aprender haciendo" (Mata y López, 2007) utilizando metodologías participativas. En este mismo proceso de formación, facilitado por expertos, se adquieren las habilidades y conocimientos sobre la problemática identificada por los grupos sociales (Jarquín, 2010); lo anterior implica técnicas de ensayos sencillos, que indudablemente aportarán a la solución de los vacíos de conocimiento a través de procesos participativos.

La filosofía de las "Escuelas de Campo de Agricultores" (ECA's, en su concepción inicial), se originó en los años 60, cuando Paulo Freire, un educador visionario, planteó la necesidad de reemplazar la educación tradicional de tipo vertical, por una "educación problematizadora" que facilitara a las personas herramientas para analizar y cuestionar su realidad. Esto implica dejar de considerar a las personas como recipientes vacíos y revalorizar el conocimiento desarrollado como producto de su experiencia, cuando de adultos se trata (Bazán *et al*., 2002). Paralelamente a la experimentación en fincas representativas de agricultores cooperantes, utilizando diseños sencillos que permitan las comparaciones y mediciones por los propios agricultores, Sánchez (1995) sugiere que se realicen investigaciones integrales o de síntesis, ya sea en fincas representativas de

productores, o bien en campos experimentales institucionales, cuyos diseños sean más complejos y con tamaño de parcela suficiente, como para permitir mediciones reales de los parámetros económicos y de sostenibilidad de las prácticas recomendadas.

En el proyecto FORDECyT-139378, de *Café In Red*, el observatorio cafetalero se concibió como una "Unidad de Interacción Distribuida", donde las acciones de intervención mediante la investigación, capacitación, transferencia de tecnología y difusión masiva del conocimiento, en la cafeticultura regional de la ZCEV, se dieran con métodos participativos, mediante los cuales los productores externaran sus puntos de vista sobre lo que habría que investigarse, en qué era prioritario capacitarse y en qué procesos de transferencia de tecnología estaban interesados, para que posteriormente también intervinieran en la validación de los resultados de las acciones realizadas por cada estrategia del proyecto.

Transferencia de tecnología con enfoque participativo

Los campesinos han adaptado constantemente su propia tecnología de producción agrícola a los cambios de ambientes, debido a lo cual, estas tecnologías campesinas están revalorándose bajo el énfasis ecológico reciente, resaltándose el proceso de ensayo y error implícito: experimentación en su más esencial acepción y en su forma más simplificada (Perales, 1993). El conocimiento del agricultor de la lógica básica de una práctica o tecnología dada, es una condición indispensable para que ésta sea aceptada ampliamente (Buckles *et al*., 1994). En el pasado se tuvieron contratiempos significativos en la efectividad de la investigación y la difusión tecnológica, al subutilizar la creatividad de los agricultores, así como de su conocimiento local. Por esta razón, como parte de la generación de tecnología apropiada y realización de acciones para su adopción, los métodos participativos son esenciales para facilitar el desarrollo de capacidades en comunidades rurales y propiciar el cambio tecnológico pertinente (Buckles y Tripp, 1993). Esta estrategia que involucra al productor y su familia hace más interesante y facilita la implementación de innovaciones tecnológicas en su unidad de producción, ya que la comunidad participa de manera protagónica en la generación de conocimientos y tecnologías que presumiblemente solucionarían sus propios problemas.

La FAO (1987) indica que el desarrollo integrado regional comienza por impulsar el progreso de la agricultura, dándosele preferencia a la agricultura de subsistencia, practicada por pequeños agricultores, quienes generalmente han quedado al margen de los programas de desarrollo, al dársele prioridad al sector de la agricultura comercial. Además, las metodologías y estrategias empleadas para transferir tecnología, así como la tecnología en sí misma (Tripp y Wolley, 1989; Buckles y Tripp, 1993), no han sido las más adecuadas a las condiciones agroecológicas y circunstancias de estos pequeños productores.

En este contexto, las metodologías que están cobrando importancia, son las que se basan en la integración de grupos informales en una dimensión auténticamente participativa (IICA, 1996). En éstas se procura la conjunción de esfuerzos de los productores, principalmente pequeños y medianos, para el logro de metas y objetivos que les son comunes, y que difícilmente podrían alcanzar en forma individual, contando para ello con el concurso de las instituciones (INIFAP, 1996). Experiencias con estrategias basadas en técnicas grupales, se tienen con los grupos de amistad y trabajo para transferir tecnología a pequeños cafeticultores, promovidos por el PROMECAFE en Colombia y Centroamérica (Vejarano, 1991), así como en la validación y transferencia de tecnología con grupos de ganaderos (GGAVTT's) por parte del INIFAP (1996). De igual forma se documentaron experiencias participativas con los Módulos Comunitarios de Apoyo a la Transferencia de Tecnología en Café (MoCATT's) en la Zona Centro del Estado (Castillo, 2005). Las experiencias y resultados obtenidos en los casos antes mencionados, corroboran que los métodos participativos a través de grupos informales de productores, son la forma más indicada de facilitar la extensión horizontal de productor a productor. Aguas (2011), realizó un análisis de proyectos con enfoque participativo en donde incluyó como casos, un grupo de caprinocultores, otro de floricultores y el de cafeticultores unidos, un grupo gestado mediante un proceso de incubación conducido por el INIFAP en Tlacotepec de Mejía, en la región Huatusco, como parte de la experiencia de los MoCATT's (Castillo, 2005). En relación con la autogestión se encontró que, ésta fue alta para los dos primeros grupos y de nivel medio para los cafeticultores; la diferencia se asoció con la limitada capacidad de cambio de actitud de los productores de café, aunado a una débil conciencia colectiva, que influyó en el desarrollo de valores sustentables y de capacidades en torno a la unidad para alcanzar un objetivo común. Sin embargo, la aplicación del enfoque participativo y la aplicación de componentes

indicados en los proyectos, fueron altas en los tres grupos. La conclusión de este estudio fue que cuando la génesis de un proyecto es externa, los elementos cohesionadores internos que dan sentido a la colectividad, son débiles.

Sin embargo, estas formas de trabajo funcionan también como la unidad básica de vinculación entre investigadores, agentes de cambio y productores, lo que consecuentemente se traduce en eficacia y mayor cobertura de la transferencia de innovaciones para el campo y sus productores. En un documento de trabajo sobre América Latina y el Caribe, la FAO (1987) cita: "a pesar de todos los principios establecidos sobre las ventajas y poder multiplicador del trabajo con grupos de agricultores, la labor de extensión rural aún se basa en la atención de los problemas individuales de los agricultores y sus familias", indicando que los servicios de extensión deben intensificar significativa y aceleradamente la capacitación de sus agentes de cambio en principios y técnicas de comunicación. También se enfatiza la importancia de asistir a los miembros de toda la familia rural, porque todos tienen potencialidades que aportar, a fin de mejorar la tecnificación y la administración del sistema de producción, integrado y diversificado, que caracteriza las fincas de los pequeños agricultores.

La Zona Centro del Estado de Veracruz (ZCEV) como espacio geográfico de producción de café

El espacio geográfico donde se ubica la ZCEV representa la zona compacta productora de café más importante del país (Moguel y Toledo, 1999) y está conformada por siete de las 10 regiones productoras de café en el estado. Con fines prácticos, los autores las agrupan en tres subzonas: centro-norte (Atzalan y Misantla), centro-centro (Coatepec y Huatusco) y centro-sur (Córdoba, Tezonapa y Zongolica), cuya superficie establecida de cafetales representa el 21, 38 y 34% respectivamente, del total de la ZCEV (López *et al*., 2013). En la Figura 2.1. se muestra la localización de las subzonas y la delimitación geográfica de las zonas con buen potencial productivo para cultivar café (franja de color amarillo).

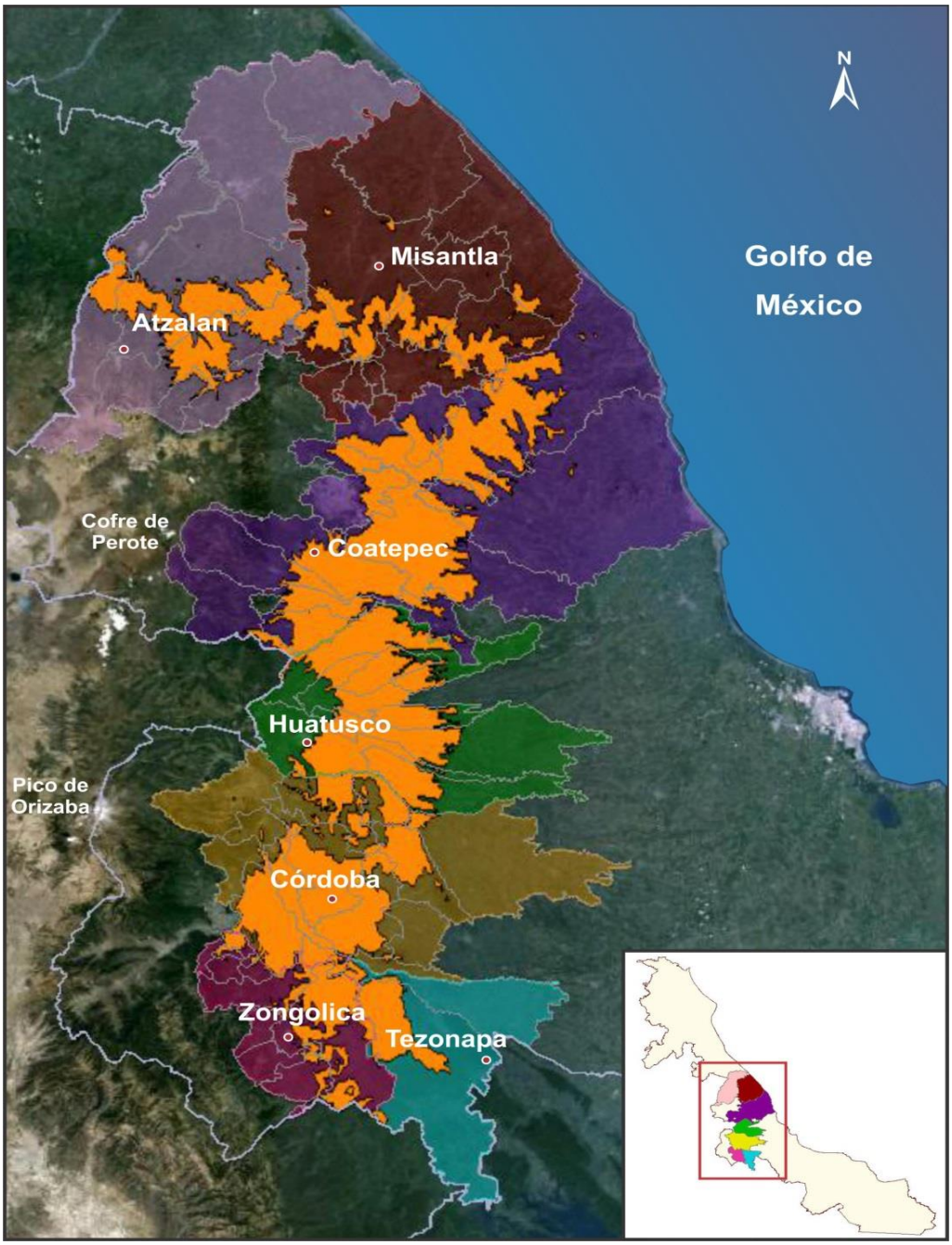
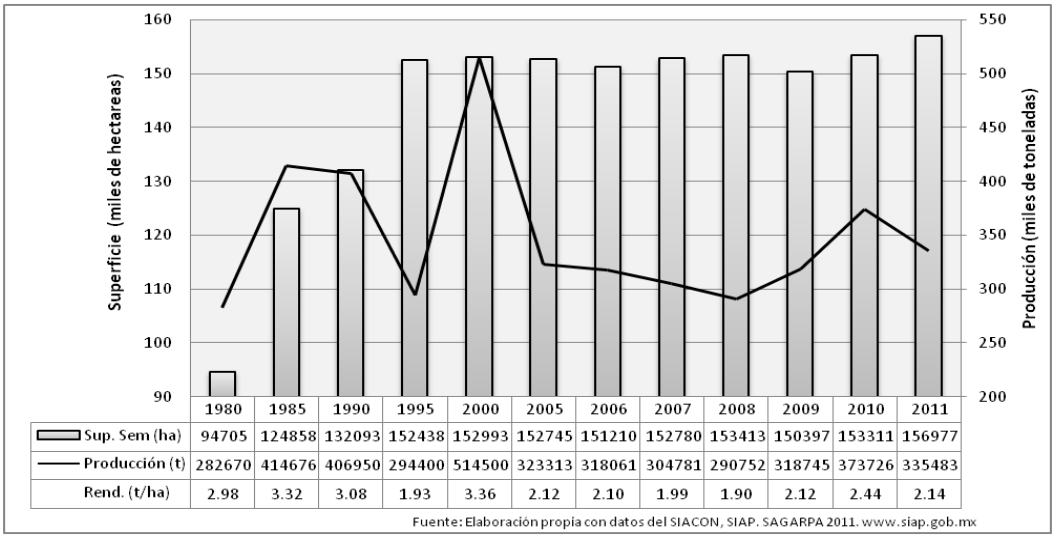


Figura 2.1. Espacio geográfico regional de la producción de café en la ZCEV.

La cafeticultura veracruzana la caracterizan los siguientes factores: 1. Diferenciación de condiciones agroecológicas regionales, 2. Distintos niveles y enfoques de tecnología aplicada, y 3. Simplicidad en la comercialización de la cosecha. Estos factores definen tipologías de productores, uno de los cuales es la comercialización del café en fruto (café cereza), prácticamente sin valor agregado, razón por la que el gremio de productores de café veracruzano está tipificado, de manera general, como "cerecero" (Santoyo *et al*., 1996). Los escenarios diferentes y contrastantes que se tienen en la cafeticultura veracruzana, se conforman a partir de la ecogeografía de cada una de las 10 regiones productoras en el estado, delimitadas por municipios con presencia de cafetales de importancia económico-comercial (CRUO-UACH, 2011).

Cafetales en producción en Veracruz. Con los datos de estadísticas básicas sobre el cultivo de café, reportadas por el SIACON-SIAP-SAGARPA para el periodo de 1980 a 2011, se elaboró la Figura 2.2. De 1980 a 2005, se indican los datos promedio de periodos de cinco años, mientras que, a partir de 2005, los datos son anuales.

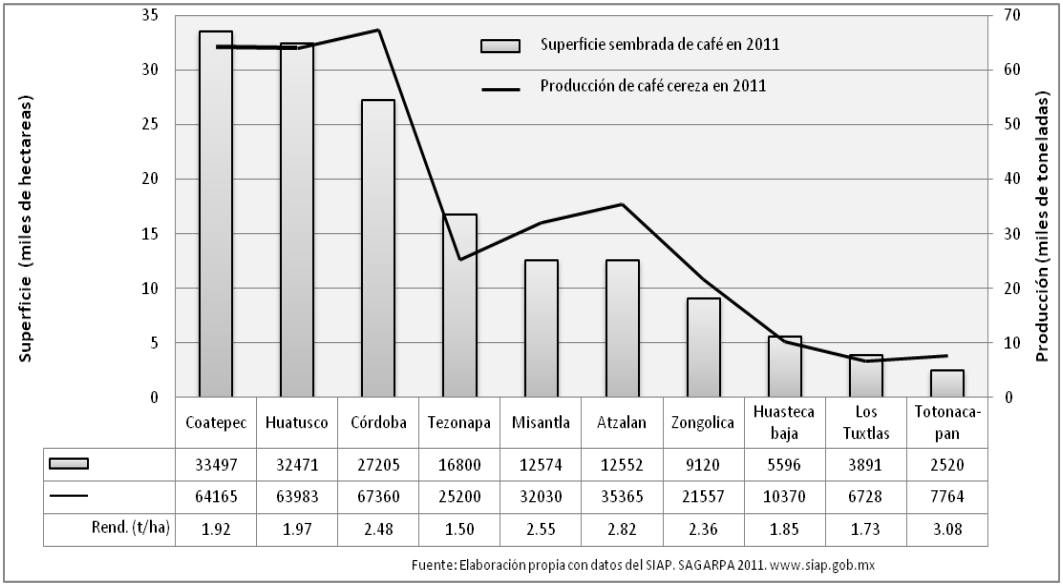


	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Sup. Sem (ha)	94705	124858	132093	152438	152993	152745	151210	152780	153413	150397	153311	156977
Producción (t)	282670	414676	406950	294400	514500	323313	318061	304781	290752	318745	373726	335483
Rend. (t/ha)	2.98	3.32	3.08	1.93	3.36	2.12	2.10	1.99	1.90	2.12	2.44	2.14

Fuente: Elaboración propia con datos del SIACON, SIAP. SAGARPA 2011. www.siap.gob.mx

Figura 2.2. Superficie sembrada y volumen de la producción de café cereza en el estado de Veracruz durante el periodo 1980-2011.

La superficie sembrada creció y se estabilizó a partir de la segunda mitad de la década pasada, observándose que para el año 2011, en Veracruz hubo 156,977 hectáreas de cafetales; sin embargo, el volumen de producción de café cereza no ha reflejado el mismo comportamiento. Para subsanar esta discrepancia se requiere la implementación de acciones transdisciplinarias e interinstitucionales, con la participación de los productores, para emprender un plan de impulso a la producción de café en el estado de Veracruz, y posicionarlo como un factor relevante de contribución a la economía estatal. Con el uso de estadísticas del SIAP en su cierre agrícola 2011 se elaboró la Figura 2.3, donde puede observarse que las regiones de la Zona Centro de Veracruz, contribuyen con el 92% de la superficie total del estado plantada con cafetos, resaltando por su superficie las regiones de Coatepec, Huatusco, Córdoba y Tezonapa.



	Coatepec	Huatusco	Córdoba	Tezonapa	Misantla	Atzalan	Zongolica	Huasteca baja	Los Tuxtlas	Totonaca-pan
▭	33497	32471	27205	16800	12574	12552	9120	5596	3891	2520
—	64165	63983	67360	25200	32030	35365	21557	10370	6728	7764
Rend. (t/ha)	1.92	1.97	2.48	1.50	2.55	2.82	2.36	1.85	1.73	3.08

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP. SAGARPA 2011. www.siap.gob.mx

Figura 2.3. Superficie sembrada y volumen de la producción de café cereza en el estado de Veracruz por región cafetalera en el año 2011.

En 2011, la superficie cultivada de cafetales en el estado de Veracruz fue de 144,219 hectáreas, siendo el 92% de la producción estatal obtenido en las regiones productoras de café de la ZCEV. El potencial productivo determinado para producir café en la ZCEV es de 311,196 hectáreas, de las cuáles, cerca del 50% están ubicadas en las regiones de Coatepec y Huatusco (Díaz *et al*., 2013).

Variables climáticas y altitud en la ZCEV

En términos topográficos, la ZCEV es dominada por un plano inclinado hacia el mar. En sus pisos altitudinales que van de los 600 a los 1,400 metros se ubica el 96.4% del total de la superficie cultivada con café en el estado, conformando la principal zona compacta productora de café en México. Su distribución abarca desde los 18 hasta los 21° de latitud N, se extiende de manera frontal al Golfo de México y se asienta en el punto en que confluyen la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre del Sur y la Cordillera Neovolcánica. De sus elevaciones sobresalen nombres regionales para subsistemas orográficos, como la Sierra de Chiconquiaco, al margen norte del Cofre de Perote, y la Sierra de Zongolica, al margen sur del Pico de Orizaba; a todo el sistema orográfico de la ZCEV, se le conoce como "Región de las Grandes Montañas" del estado de Veracruz.

Cuencas hidrológicas. Las sierras y montañas de la ZCEV delimitan espacios biogeográficos referidos a cuencas y subcuencas de la vertiente del Golfo de México en el estado de Veracruz. De esta manera, a la región productora de Atzalan la define la subcuenca del río Bobos, mientras que, a la región productora de Misantla, las subcuencas de los ríos Misantla, Ixtacapan-Colipa, Juchique y Santa Ana; los ríos de ambas regiones cafetaleras conforman la "Cuenca del río Nautla y otros". La región productora de Coatepec está definida por las subcuencas de los ríos Actopan y Huehueyapan-Pescados, mientras que la región productora de Huatusco, por la subcuenca del rio Pescados, junto con las subcuencas de los ríos Paso de Ovejas y Xicuintla-Jamapa, que conforman la "Cuenca del río Jamapa y otros". La región de Córdoba está delimitada por la subcuenca del río Blanco, mientras que las regiones productoras de Zongolica y Tezonapa por la subcuenca del río Tonto, que juntos forman la vertiente norte veracruzana de la "Cuenca del río Papaloapan".

Variables climáticas regionales. La temperatura media anual presenta una media de 18°C, con valores medios mínimos de 17°C en la región de Atzalan y medios máximos de 22°C en la región de Tezonapa. La pendiente máxima se encuentra en la región de Tezonapa con 117%; la media de la pendiente en la franja referida es del 27.3%. La altitud promedio en la ZCEV con presencia de cafetales, es de 1,092.3 metros, donde predominan los suelos Andosol húmico, Feozem háplico y Luvisol órtico. Las variables climáticas regionales con sus valores promedio se indican en el Cuadro 2.1. En la columna con los datos de

altitud, se muestra claramente que la información está referida al espacio geográfico con aptitud para cultivar café. Es decir, el promedio altitudinal indica la tendencia de la elevación territorial regional, considerando el intervalo de altitudes que va de los 600 a los 1,600 metros.

CUADRO 2.1. VARIABLES CLIMÁTICAS, PENDIENTE Y ALTITUD EN LAS REGIONES CAFETALERAS DE LA ZCEV.

REGIÓN	VARIABLES CLIMÁTICAS[1]						PENDIENTE (%)		ALTITUD (m)
	TEMPERATURA MEDIA (°C)			PRECIPITACIÓN (mm)					
	MAX.	MED.	MIN.	MAX.	MED.	MIN.	MAX.	MED.	
Atzalan	19	18	17	1,713	1,654	1,589	98	34	1,084
Misantla	20	19	18	1,564	1,518	1,474	96	34	1,115
Coatepec	21	20	19	1,513	1,440	1,361	63	15	1,042
Huatusco	20	19	18	1,881	1,785	1,660	72	17	1,126
Córdoba	21	20	19	1,956	1,913	1,855	73	21	1,091
Zongolica	21	20	19	1,883	1,966	1,814	98	39	1,117
Tezonapa	22	21	20	2,335	2,144	2,080	117	31	1,071

[1]= Considerando una franja altitudinal de 600 a 1600 msnm.

Los datos de temperatura y lluvia provienen de promedios estimados por el modelo “raster”, interpolados con el método de “Thin Plate Smoothing Spline” del software Anusplin (Hutchinson, 2004) a una resolución de píxel de 90 metros por lado; a su vez, los datos promediados de altitud provienen del modelo de elevación digital (MED) de INEGI de igual resolución (INEGI, 1995). El paisaje topográfico del espacio comprendido entre los 600 y 1,600 metros de altitud de toda la ZCEV, se presenta en la Figura 2.4.

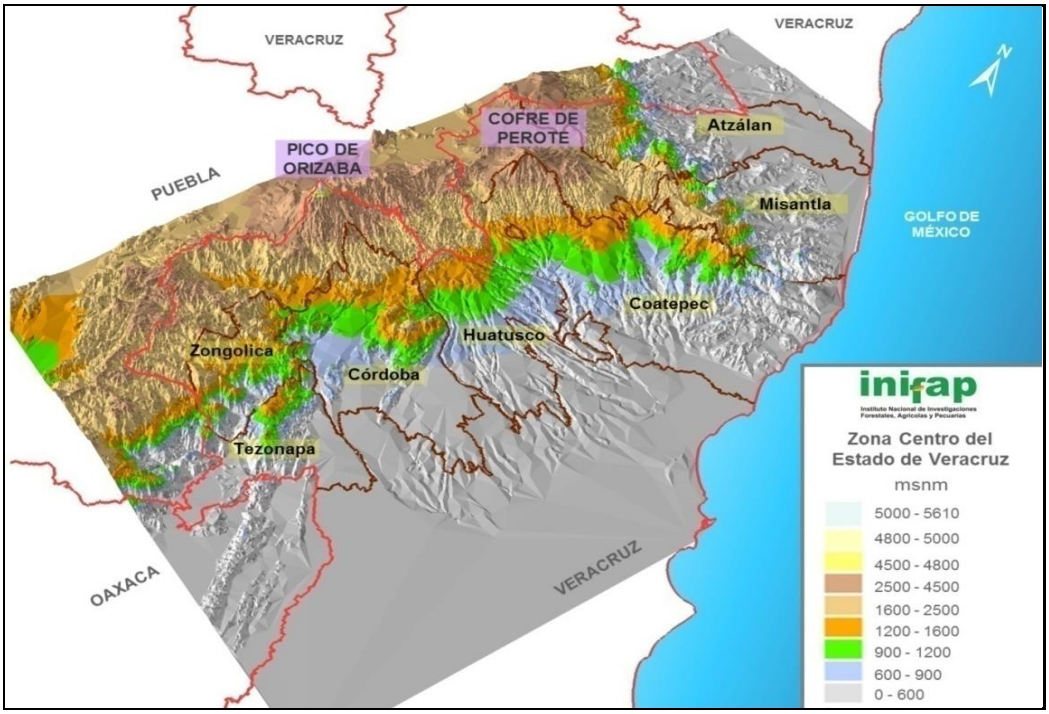


Figura 2.4. Modelo de elevación digital de la ZCEV y sus regiones productoras de café.

2.3. Proceso estadístico-geográfico de ordenamiento del OC-ZCEV

La población objetivo fueron las siete regiones productoras de café que conforman la ZCEV; el proceso para determinar el muestreo, con fines de interactuar con una población meta, se desarrolló en dos fases: 1. Cálculo del tamaño de muestra y 2. Ubicación de las unidades de observación en el espacio geográfico en referencia.

Primera fase. Con base en el padrón cafetalero manejado por la Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA), se realizó un análisis de la superficie de la finca registrada, así como del número de productores por tamaño de predio; se ordenó en intervalos de tamaño de predios como de número de productores ubicados en cada uno de éstos. Asimismo, en ambas variables se consideraron estratos de altitud. Es

notorio el sesgo que la superficie de los cafetales tiene hacia tamaños menores de 2 hectáreas; también cabe resaltar que apenas un 10% de las fincas son mayores a 8 hectáreas, y que las grandes fincas cafetaleras están casi por desaparecer. El 63% de los predios cafetaleros en Veracruz se concentran en altitudes medias (Cuadro 2.2).

CUADRO 2.2. SUPERFICIE DEL CAFETAL DEFINIENDO EL TAMAÑO DE FINCA POR ESTRATO ALTITUDINAL.

GRUPO	SUPERFICIE DE LA FINCA (ha)	SUPERFICIE (ha) POR ESTRATO ALTITUDINAL (m)				SUPERFICIE TOTAL (ha)	%	% ACUMULADO
		< 400	400<750	750<1,250	1,250<1,750			
1	0.01 - 0.5	220	4,088	12,650	3,338	20,296	19	19
2	>0.5 - 1.0	250	4,657	12,757	2,952	20,616	19	38
3	>1.0 - 2.0	319	5,722	14,352	2,950	23,343	21	59
4	>2.0 - 4.0	179	4,950	13,277	2,465	20,871	19	78
5	>4.0 - 6.0	54	2,252	6,333	1,242	9,881	9	87
6	>6.0 - 8.0	40	846	2,064	311	3,261	3	90
7	>8.0 - 10.0		430	1,487	243	2,160	2	92
8	>10.0 - 20.0		696	2,430	707	3,833	4	96
9	>20.0 - 50.0	48	375	2,792	387	3,602	3	99
10	> 50.0 y < 180			1,030	408	1,438	1	100
Subtotal (ha)		1,110	24,016	69,172	15,003	109,301		
% Por estrato		1	22	63	14			
% Acumulado		1	23	86	100			

Al considerar el número de productores dueños de fincas en relación al tamaño de las mismas, se observó que el 90% de ellos poseen menos de 2 hectáreas (Cuadro 2.3), lo anterior es un indicativo del enorme esfuerzo que debe realizarse para cubrir el gran frente de pequeños productores en superficies altamente divididas. Sin embrago, es pertinente aclarar que la finca de un productor puede ser de categoría dispersa o compacta. Los cafeticultores en el estrato de los 750 a menos de 1,250 metros de altitud, representan el 62% de la población total de la ZCEV, lo cual indica que las áreas para producir café están bien identificadas por los cafeticultores, y da por hecho que ellos saben del papel que desempeña la altitud como variable ambiental para propiciar una buena calidad en taza de la infusión de café, desde las categorías prima lavado, hasta cafés de altura y estricta altura.

CUADRO 2.3. NÚMERO DE PRODUCTORES POR TAMAÑO DE FINCA Y SU DISTRIBUCIÓN POR ESTRATO ALTITUDINAL.

GRUPO	SUPERFICIE DE LA FINCA (ha)	PRODUCTORES POR RANGO ALTITUDINAL				TOTAL POR TAMAÑO DE FINCA	%	% ACUMU-LADO
		<400	400-750	750-1250	1250-1750			
1	0.01 - 0.5	527	10,137	31,571	8,328	50,563	48	48
2	>0.5 - 1.0	317	5,959	16,608	3,841	26,725	26	74
3	>1.0 - 2.0	225	4,008	10,078	2,086	16,397	16	90
4	>2.0 - 4.0	64	1,755	4,778	893	7,490	7	97
5	>4.0 - 6.0	11	468	1,316	258	2,053	2	99
6	>6.0 - 8.0	6	121	299	46	472	0	99
7	>8.0 -10.0		48	166	27	241	0	100
8	>10.0 - 20.0		51	175	50	276	0	100
9	>20.0 - 50.0	2	16	90	13	121	0	100
10	>50.0 y <180			14	3	17	0	100
Subtotal por estrato		1,152	22,563	65,095	15,545	104,355		
% Por estrato		1	22	62	15			
% Acumulado		1	23	85	100			

Con la finalidad de observar la dispersión de la superficie de la finca para cada uno de los propietarios, se realizó una gráfica de puntos, en donde se identificó que la mayor concentración de puntos se encuentra por debajo de las 10 hectáreas, y sólo una pequeña proporción se encuentra por encima de esta superficie (Figura 2.5: sección a). De igual forma, al aumentar la escala en el intervalo de superficie entre 0 y 10 hectáreas (Figura 2.5: sección b), se observa que tiene un comportamiento fractal (Mandelbrot, 1983), el cual deberá ser analizado de manera diferente, involucrado el factor tiempo, lo que, para el presente capítulo, no es relevante.

Una vez analizadas las superficies de las fincas, se realizó el análisis de la distribución de éstas por su altitud, a fin de facilitar la eliminación de aquellas fincas que no correspondieran a una cota altitudinal favorable para la producción de café arábica (Figura 2.6); es decir, sólo fueron consideradas aquellas que se encontraban dentro del intervalo de 400 a 1,750 metros sobre el nivel medio del mar.

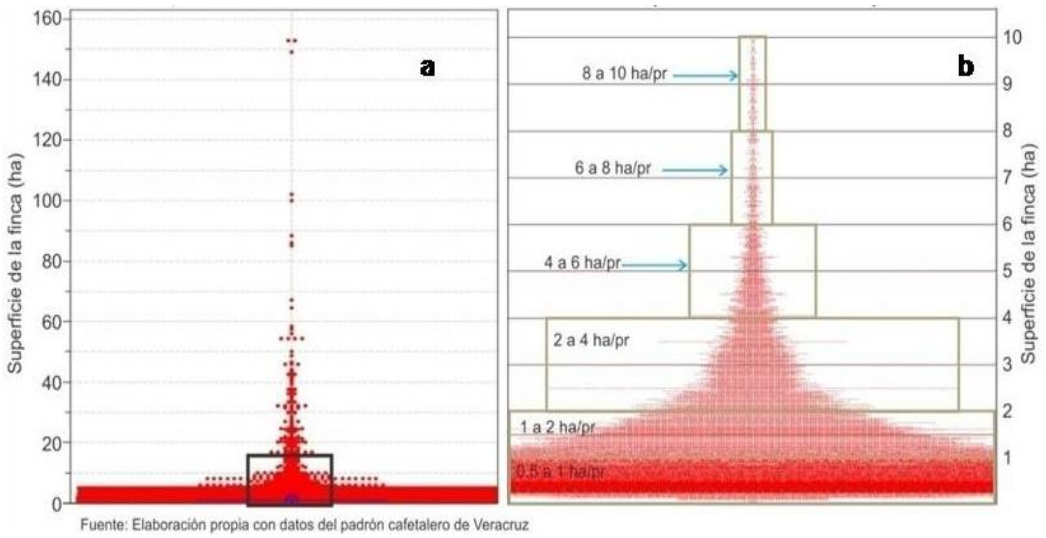


Figura 2.5. Dispersión individual total de la superficie de las fincas cafetaleras registradas en el padrón cafetalero del estado de Veracruz (a); y apreciación de la dispersión cuando sólo se consideran cafetales de menos de 10 hectáreas (b).

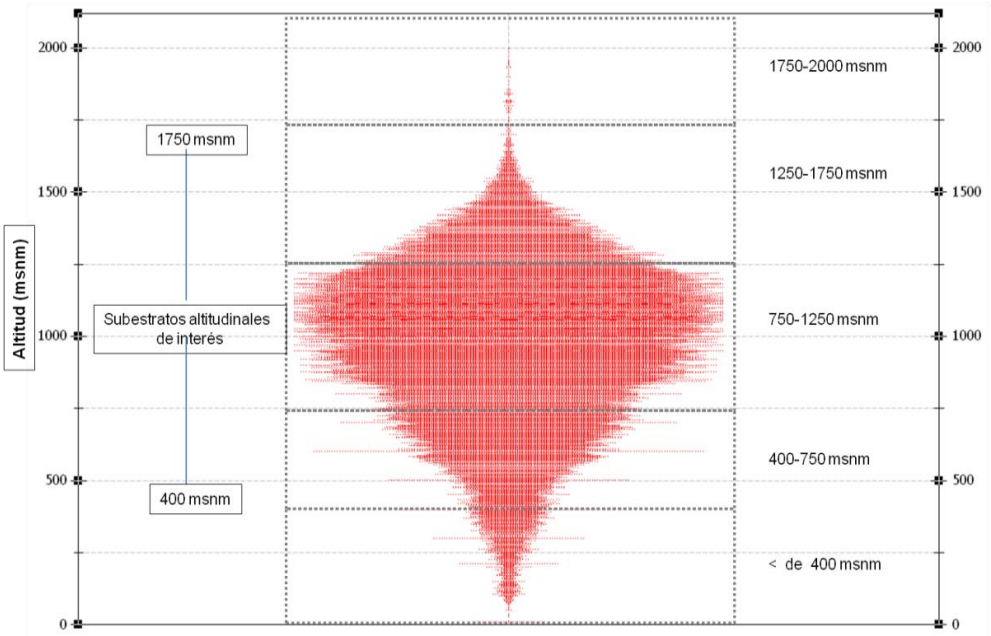


Figura 2.6. Distribución de fincas a través de su altitud dentro del intervalo 0 a 2,000 metros.

Una problemática que puede ocurrir cuando se analizan datos cuantitativos, es que éstos no cumplen un supuesto de normalidad, lo cual dificulta su aplicación en el análisis de procesos de investigación que precisan de registros que cumplan con una distribución normal. En este caso, se sugiere realizar transformaciones de datos, los cuales suelen dificultar la interpretación de hechos numéricos específicos, haciéndose preferible emplear métodos gráficos. De esta forma, al considerar la información de la superficie de las fincas, se realizó el cálculo de estadísticas descriptivas, observándose, como ya se indicó anteriormente, que la superficie mínima registrada en el padrón de cafeticultores es de 0.01 hectáreas, mientras que la máxima es de casi 153 hectáreas. Esto ocasionó un sesgo de 25.24 hectáreas y una curtosis de 1,330.13 hectáreas, lo que hace inconveniente utilizar el promedio de superficies (1.047 hectáreas), ya que a partir del análisis de bondad de ajuste con la prueba de Anderson-Darling, se observó que el valor de "***P***" proporciona elementos para rechazar la hipótesis de que los datos cuentan con una distribución normal. En cambio, los valores cuartiles pueden aproximarse más al hecho de superficies heterogéneas de los cafetales de la ZCEV. Finalmente, el cálculo del tamaño de muestra se realizó bajo tres métodos: a) proporciones, b) coeficiente de variación y c) valor de Z: dos colas (Cuadro 2.4.).

CUADRO 2.4. ESQUEMAS DE MUESTREO Y ALGORITMO PARA CALCULAR EL NÚMERO DE ENTREVISTAS ESTRUCTURADAS A APLICAR EN LA ZCEV.

ESQUEMA DE MUESTREO		ALGORITMO	NIVEL DE CONFIANZA	VALORES		TAMAÑO DE MUESTRA
Proporción de la población	1	$n = \frac{Nz^2_{\alpha/2}p(1-p)}{(N-1)e^2 + z^2_{\alpha/2}p(1-p)}$	85%	p = 0.5 e = 0.1	N= 123,000 $z_{\alpha/2}$= 1.4395	**51.78**
Coeficiente de variación	2	$n = \frac{t^2 CV^2}{e^2}$	85%	t^2= 1.4787 e=5%	CV = 25%	**54.66**
Con base en el valor de Z	3	$n = \frac{z^2_{\alpha/2}\sigma^2}{e^2}$	95%	σ= 3.701 e= 0.8 ha	$z_{\alpha/2}$=1.6448	**57.90**

Algoritmo 1
n = Tamaño de la muestra, ***N =*** Número de fincas registradas en el padrón de cafeticultores, ***z =*** Valor de tablas de la distribución normal derivado del nivel de confianza (α) que se aplica a la estimación de la muestra, ***p =*** Proporción de cafeticultores con ≤ 5 ha, ***q =*** Proporción de cafeticultores con > 5 ha, ***e =*** Margen de error permitido en la estimación.

Algoritmo 2
n = Tamaño de la muestra, ***t =*** Valor de tablas de la distribución *t*-student derivado del nivel de confianza que se aplica a la estimación de la muestra, ***CV =*** Porcentaje de coeficiente de variación, ***e =*** Porcentaje del margen de error permitido en la estimación.

Algoritmo 3
n = Tamaño de la muestra, ***z =*** Valor de tablas derivado del nivel de confianza (α) que se aplica a la estimación de la muestra, ***σ =*** Desviación estándar en la superficie registrada en el padrón, ***e =*** Margen de error permitido en la estimación considerando la unidad de medida de la variable de interés.

En términos generales, dependiendo del método de estimación, con un tamaño de muestra de 50 a 60 fincas se tendría una precisión de 80 a 90% y un error de 5% a 10%. Después del análisis por intervalos y frecuencias, inicialmente se diseñó un marco múltiple de muestreo en donde se analizaron las superficies de las fincas registradas en el padrón de cafeticultores; posteriormente este padrón se incorporó a un sistema de información geográfica, en el cual se observó la dispersión espacial de las fincas de cafeticultores de la ZCEV. Con la interacción de ambos marcos de muestreo, se desarrolló un esquema estadístico con certidumbre para generar inferencias sobre el fenómeno estudiado y sobre el espacio geográfico de la ZCEV. En esto último subyace en forma lógica e implícita el objetivo del OC-ZCEV: inferir sobre una población a través de un muestreo, en todo tipo de acciones que abarque el total de fincas, o los cafeticultores propietarios de éstas, que conforman el OC-ZCEV.

Segunda fase. En esta fase se ubicaron geográficamente las fincas de café, con cuyos dueños se desarrollaría un proceso interactivo de acción investigación y capacitación-desarrollo. Para realizar la selección de fincas que actualmente conforman el OC-ZCEV, fue necesario realizar el cálculo de sus "centroides", los cuales representan el punto de equilibrio de un polígono en un espacio geográfico, conforme a lo cual fue posible realizar la clasificación de las fincas considerando criterios de superficie y altitud. Una vez calculados los centroides considerando condicionantes de acceso, distancia entre cafetales y representatividad entre otros, mediante sistemas de información geográfica (SIG-*ArcGis 8.0*) se realizó el proceso cartográfico para definir qué cafetales conformarían el actual observatorio cafetalero de la ZCEV.

Accesibilidad. Con la finalidad de facilitar el acceso en determinados eventos demostrativos o de capacitación, se contemplaron áreas buffer o "límites máximos de acción", que comprendieron un perímetro de 0.5 kilómetros a cada lado de los accesos, transitables en cualquier época del año, los cuales podrían ser brechas, veredas o carreteras, tanto en condición de terracería como pavimentadas.

Distancia mínima. Esta condicionante consistió en establecer un espaciamiento mínimo entre fincas, de al menos 1 kilómetro de distancia, lo que permitió establecer heterogeneidad de sitios, con independencia estadística y sin autocorrelación espacial; lo anterior permitió contar con una mayor

diversidad de condiciones de manejo y características de suelo y clima entre los cafetales, en el espacio geográfico contemplado para el OC-ZCEV.

Representatividad. En una primera aproximación de distribución de centroides en toda la ZCEV, se tuvo un total de 104,355 fincas en 29 estratos; posteriormente se realizó el trazo de áreas de límite máximo de acción a partir de vías de acceso, lo que permitió identificar 62,374 fincas. Finalmente, a partir de esta última cifra, empleando el módulo "Random point generation" del *ArcGis 8.0,* extensión *Hawth's Analysis Tools for ArcGIS*, se generó el mapa de fincas de café que integrarían el Observatorio Cafetalero de la Zona Centro del Estado de Veracruz, mismo que se muestra en la Figura 2.7.

En forma proporcional al total de fincas existentes en cada estrato, tamaño de finca por superficie y estrato altitudinal, fueron seleccionados los cafetales donde se registrarían y estimarían condiciones de la cafeticultura en la ZCEV. Sólo fueron considerados cafetales de más de 1 hectárea, a fin de asegurar área suficiente para trabajos experimentales.

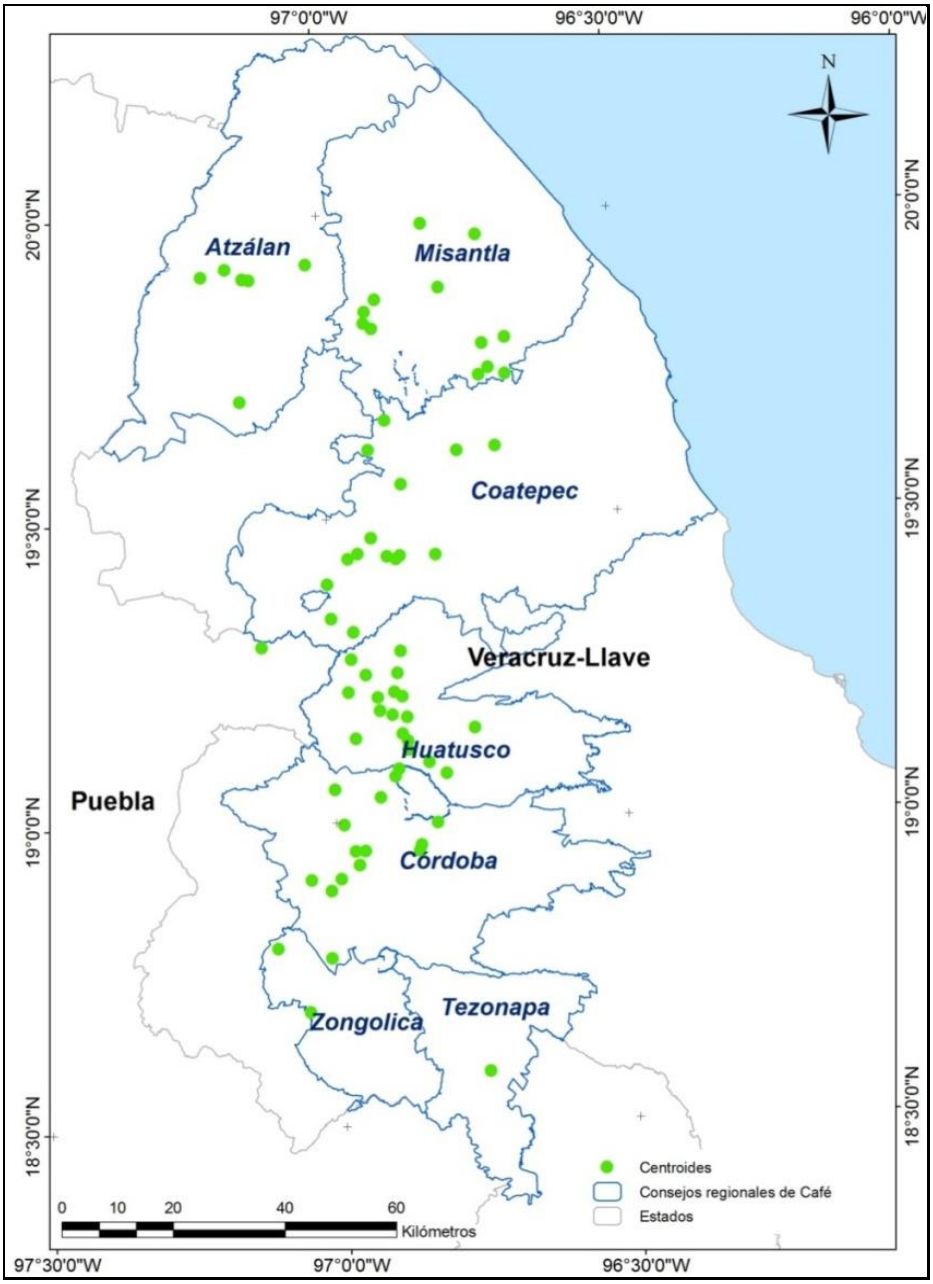


Figura 2.7. Regiones conformantes de la ZCEV y distribución de fincas de café que definen espacios a considerar en estudios y acciones de cada estrategia de *Café In Red*.

2.4. Estrategias de acción-investigación de *Café In Red*

Café In Red tiene cinco líneas estratégicas de investigación-acción que buscan aprovechar las oportunidades y enfrentar los retos del subsector cafetalero de manera integral, con participación directa de productores. El quehacer en conjunto de *Café In Red*, opera en el OC-ZCEV, enunciándose sus líneas de acción a continuación.

Sistema de Inteligencia Competitiva (SIGCAFÉ). A través del conocimiento agroecológico regional e investigación participativa pertinente para el desarrollo de agrupaciones socioeconómicas en la ZCEV, el sistema de inteligencia tiene la responsabilidad de diseñar un modelo dinámico de regionalización, tendiente a favorecer la producción y ubicación de mercados para cafés de calidad. A la vez, sistematiza y difunde información sobre la actividad cafetalera de las regiones productoras y administra las líneas de investigación-acción mediante el suministro constante de datos en tiempo real.

Servicios Ambientales y Medio Ambiente (SACAF). Al generar conocimiento sobre zonas cafetaleras prioritarias para brindar múltiples servicios ambientales, con base en la caracterización agroecológica de espacios geográficos, facilita la gestión de nuevos nichos de mercados y fundamenta la certificación de cafés diferenciados que ofrecen mejores precios. De esta manera contribuye con información científica y técnica, como herramientas de políticas públicas sobre ordenamiento territorial y cambio climático, colaborando en el desarrollo de mercados para el pago por servicios ambientales.

Sistemas Agroforestales en Café (AGROCAF). Mediante la aplicación de principios agroecológicos en el manejo de cafetales bajo sistemas agroforestales (SAF-Café), investiga y transfiere conocimiento para la diversificación productiva en fincas, generando a la vez, indicadores experimentales que fundamentan la compatibilidad de especies que interactúan en el agroecosistema café. Se apoya en saberes campesinos registrados a través de procesos participativos, y contribuye en la conservación de la diversidad biológica inherente al cafetal bajo sombra, sobre todo de especies arbóreas nativas y de las epífitas asociadas a éstas.

Cadenas Productivas (CADECAF). Con la implementación de un sistema de trazabilidad, concebido éste como el control de los factores que influyen en la calidad del café, desde las prácticas de cultivo, recolección de la cereza y manejo postcosecha, integra la cadena de valor, tomando en cuenta organizaciones de productores con inclusión de género. Con esto se espera obtener propiedades organolépticas del grano que incrementen su prestigio en la región, a través del tiempo

Desarrollo Empresarial (EMPRECAF). Al obtenerse el prestigio que comunidades y ciudades, en un entorno municipal, han adquirido con base en el café, se dan oportunidades de capacitación para el **emprendimiento** y **fomento de la cultura** regional, en forma tal que se recuperan valores relacionados con la cafeticultura. Asimismo, la estrategia de desarrollo empresarial, con enfoque cultural, construye un modelo de innovación y gobernabilidad que sea referencia en el desarrollo de política pública, tanto en el sector cafetalero nacional, como en un ámbito internacional.

2.5. Consideraciones finales

La conformación del OC-ZCEV es fundamental en el quehacer de consolidar una red estratégica de grupos de productores, centros de investigación e instancias gubernamentales para la ZCEV, mediante el impulso de un nuevo bloque de innovación con un sistema de inteligencia propio, para facilitar el desarrollo de capacidades en el sector social, dirigidas a la producción diversificada y sustentable de café de calidad bajo principios agroecológicos. Asimismo, con un espacio geográfico objetivo, definido desde enfoques socioculturales y agroecológicos, es posible concretar una estrategia de búsqueda de nichos de mercado de cafés de especialidad, propiciar la autosuficiencia alimentaria y promover la conservación y restauración del agroecosistema café mediante estrategias de desarrollo de mercados, en búsqueda de pagos por servicios ambientales en las regiones cafetaleras veracruzanas; con estas acciones se documentará un cúmulo de experiencias que facilitarán herramientas de políticas públicas, a fin de mejorar el nivel de vida de las familias participantes en la cadena de valor del café. En la búsqueda de experiencias y objetivos acerca del manejo de los recursos naturales, por parte de los productores, y el desarrollo humano de éstos, se conformaron estrategias interdisciplinarias en *Café In Red*

que abarcaron aspectos agroecológicos, productivos, socioculturales y empresariales, así como acciones de intervención en la cadena de valor, sistematizándose las experiencias en un sistema de inteligencia para la competitividad del café en la Zona Centro del Estado de Veracruz, donde se encuentra alrededor del 92% de la superficie estatal con el cultivo de café. También quedó de manifiesto la importancia de los pequeños productores en la cafeticultura estatal, haciéndose necesario retomar el enfoque que la FAO reportó en 1987, asentando que el desarrollo regional comienza mediante el impulso al progreso agrícola, especialmente la de los pequeños agricultores, que, por su número y superficie trabajada, ofrecen un amplio potencial de desarrollo socioeconómico. La cafeticultura en la ZCEV, conlleva un efecto modificador de las actividades económicas y socioculturales que imprimen particularidades a este espacio geográfico, cuyas implicaciones en el desarrollo humano local, ofrecen oportunidades de investigación-acción participativa, partiendo del diagnóstico de los sistemas de producción, hasta consolidar componentes tecnológicos y elevación de conceptos que preserven la diversidad biótica y cultural, pero que también redimensionen, si fuera necesario, el uso y manejo de los recursos naturales para alcanzar objetivos de desarrollo sustentable en espacios definidos. De esta manera, el OC-ZCEV queda como un resultado tangible de la interacción entre investigadores y productores, generado a partir del financiamiento de un proyecto interinstitucional que imprimió mayor cobertura disciplinaria en este espacio meta de trabajo científico, de capacitación a productores y de registro de saberes comunitarios que enriquecen el conocimiento y realimentan el quehacer de investigación, capacitación y emprendimiento de actividades productivas.

Literatura citada

Aguas, R. T. 2011. Propuesta metodológica de evaluación integral de procesos educativos con enfoque sustentable aplicada en tres grupos de productores agrícolas de la región central del estado de Veracruz. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Ver., México. 224 p.

Anyaegbunam, Ch., P. Mefalopulos y T. Moetsabi. 2008. Diagnóstico participativo de comunicación rural: comenzando con la gente. Manual. 2da. Ed. Proyecto FAO: GCP-INT-048-ITA. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Iniciativa de Comunicación para el Desarrollo Sostenible (CDS). Roma, Italia. 170 p.

Ávila, B. C. H., M. Martínez M., J. M. Jaloma C. y N. Rodríguez O. 2005. Paradigmas en la investigación de cafetales marginales en Veracruz, México. Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente 5(11):53-78.

Barrera, J. F. 2002. Las razones y el ser de un proyecto de investigación. p. 3-5. *In*: Barrera, J. F. (ed.). Tres Plagas del Café en Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Tapachula, Chis, México.

Barrera, J. F. y R. Jarquín. 2002. Huaraches y botas: la participación campesina en la investigación. p. 11-14. *In*: Barrera, J. F. (ed.). Tres Plagas del Café en Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Tapachula, Chis, México.

Bazán, M., R. Castillo, C. Fonseca, A. Lagnaoui, J. C. León, W. León, V. León, *et al*. 2002. Guía para facilitar el desarrollo de escuelas de campo de agricultores. Manejo integrado de las principales enfermedades e insectos de la papa: caso San Miguel, Cajamarca, Perú. Centro Internacional de la Papa (CIP). CARE-Perú. Lima, Perú. 264 p.

Bentley, J. W. y P. S. Baker. 2002. Manual para la investigación colaborativa con agricultores de escasos recursos: lo que aprendimos durante el Proyecto MIB-CFC (ICO-02). CABI-Commodities. Egham, Surrey, UK, England. 131 p.

Buckles, D., I. Ponce, J. G. Sain y G. Medina. 1994. Uso y difusión del frijol de abono (*Mucuna deeringiana*) en las laderas del litoral Atlántico de Honduras. Agronomía Mesoamericana 5(1):15-29.

Buckles, D. y Tripp, R. 1993. Gorras y sombreros: caminos hacia la colaboración entre técnicos y campesinos. p. 3-8. I*n*: Buckles, D. (ed.). Memoria del Taller sobre los Métodos Participativos de Investigación y Extensión Aplicados a las Tecnologías Basadas en Abonos Verdes. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Catemaco, Ver. México.

Castillo, J. 1992. Experiencias de la aplicación del enfoque de sistemas y el marco metodológico de la investigación-desarrollo en Venezuela. Revista de investigación-desarrollo para América Latina 1(1):59-67.

Castillo, P. G. 2005. Impacto de siete MoCATT´s en el proceso de adopción y transferencia de tecnología. Informe Final (documento interno). INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Xalapa. Xalapa, Ver. 48 p.

CRUO-UACH (Centro Regional Universitario de Oriente de la Universidad Autónoma Chapingo). 2011. Plan de innovación de la cafeticultura en el estado de Veracruz. Proyecto estratégico: fomento productivo 2010. Estrategia de innovación hacia la competitividad en la cafeticultura mexicana. Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café A. C. INCA Rural. Sistema Producto Café (SPC-SAGARPA). Universidad Autónoma Chapingo-CRUO. Huatusco, Ver., México. 144 p.

Díaz, P. G., R. A. Guajardo P. y R. López M. 2013. Potencial productivo del cultivo de café en México. p. 33-54. *In*: López, M. R., G. Díaz P. y A. Zamarripa C. (eds.). El Sistema Producto Café en México: Problemática y Tecnología de Producción. Libro Técnico No. 34. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín de Bravo, Ver., México.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1987. La extensión rural y el desarrollo del agro: una alternativa pragmática para una situación de crisis. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 54 p.

Hart, R. D. 1979. Agroecosistemas: conceptos básicos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 211 p.

Hernández, J. B., F. Bernardino A. y J. Tablante. 2000. Diagnóstico participativo de la producción de café en Yaracuy. Fonaiap Divulga 17(66):29-31.

Hutchinson, M. F. 2004. Anusplin version 4.3 user guide. The Australian National University. Camberra, Australia. 54 p.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 1996. Elementos para programar, ejecutar y evaluar actividades de capacitación. Servicio Especializado I (Manual): capacitación, educación y comunicación. IICA-Instituto de Desarrollo Económico (IDE). Banco Mundial. Coronado, Costa Rica. 117 p.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1995. Modelo de elevación digital. Raster. Resolución 90 m. México, D. F. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/Descarga.aspx [consultado el 11 de junio de 2011].

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 1996. El modelo GGAVATT: una estrategia para incrementar la producción agropecuaria. Folleto Técnico No. 1. INIFAP. CIRGOC. División Pecuaria. Veracruz, Ver. 28 p.

Jarquín, G. R. 2010. Las escuelas de campo y experimentación para agricultores de México. LEISA-Revista de Agroecología 19(1):30-32.

López, M. R. y A. Contreras L. 1998. Estrategia metodológica para apoyar la transferencia de tecnología cafetalera en el estado de Veracruz: avances en su implementación. p. 110-118. *In*: Memorias de la XI Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria. INIFAP. Veracruz, México.

López, M. R., G. Díaz P., J. G. Salazar G., L. E. García M. y R. A. Guajardo P. 2013. Árboles nativos en el sombreado de cafetales: caso de la zona centro del estado de Veracruz. Libro Técnico No. 35. INIFAP. Veracruz, México. 184 p.

López, M. R., J. L. Martínez R., G. Díaz P. y J. G. Salazar G. 2004. Indicadores agroecológicos y socioeconómicos de la cafeticultura en la zona centro del estado de Veracruz. Informe Técnico. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Xalapa. Xalapa, Ver., México. 69 p.

Mandelbrot, B. B. 1983. The Fractal geometry of nature. Macmillan. New York, USA. 468 p.

Mata, G. B. y S. López M. 2007. Escuelas campesinas: experiencias de educación y capacitación en el medio rural de México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 211 p.

Moguel, P. y V. M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. Conservation Biology 13(1):11-21.

Orrego, R., O. Ortiz, W. Pradel, A. Arévalo, Ch. Barrantes y O. Macedo. 2009. Sistematización de la implementación de las Escuelas de Campo de Agricultores (ECAs) en Andahuaylas. Centro Internacional de la Papa (CIP). Cooperación al Desarrollo-CESAL. Lima, Perú. 42 p.

Pedroza, P. H. 2007. Enfoque integrado de investigación y extensión en sistemas agropecuarios: enfoque IESA. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA). Managua, Nicaragua. 135 p.

Perales, R. H. R. 1993. Experimentación campesina. p. 9-16. *In*: Buckles, D. (ed.). Gorras y Sombreros: Caminos Hacia la Colaboración entre Técnicos y Campesinos. Memoria del Taller sobre los Métodos Participativos de Investigación y Extensión Aplicados a las Tecnologías Basadas en Abonos Verdes. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Catemaco, Ver. México.

Radulovich, R. y J. A. J. Karremans. 1993. Validación de tecnologías en sistemas agrícolas. Serie técnica. Informe Técnico No. 212. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 95 p.

Sánchez, S. A. J. 1995. La generación y difusión de tecnologías para una agricultura sustentable mediante la validación e investigación de síntesis. FONAIAP Divulga 12(49):23-25.

Santoyo, C. V., H. S. Díaz C., B. Rodríguez P. y J. R. Pérez P. 1996. Sistema agroindustrial café en México: diagnóstico, problemática y alternativas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 320 p.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. http://www.siap.gob.mx/index.php option=com_content&view=article&id=181&Itemid=426 [consultado el 2 de mayo de 2013].

Tripp, R. y J. Wolley. 1989. La etapa de planificación de la investigación en campos de agricultores: identificación de factores para la experimentación. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). México, D. F. 85 p.

Vejarano, G. M. 1991. Los grupos de amistad y trabajo: una estrategia metodológica para la transferencia de tecnología a pequeños cafeticultores en PROMECAFE. Programa II. Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Tegucigalpa, Honduras. 28 p.

III. Diagnóstico participativo de la cafeticultura en la Zona Centro del Estado de Veracruz: sistematización estadística de variables

Rosalío López Morgado[1], Rafael Alberto Guajardo Panes[2], Luis Eduardo García Mayoral[3]
[1] Investigador del Programa de Cultivos Industriales Perennes del INIFAP.
lopez.rosalio@inifap.gob.mx
[2] Investigador del Programa de Agrometeorología y Modelaje del INIFAP.
[3] Investigador del Programa de Cultivos Industriales Perennes del INIFAP.

3.1. Introducción

En México, la cafeticultura es considerada una actividad estratégica, porque es el modo de subsistencia de productores de bajos ingresos y permite la integración de cadenas productivas, a la vez que genera divisas y empleos (Escamilla, 2007). También, de la cafeticultura obtienen ingresos y subsisten alrededor de 30 grupos indígenas (Moguel y Toledo, 1999). Además, recientemente, los cafetales son considerados de enorme relevancia ecológica, pues más del 95% de la superficie cultivada con cafetos se encuentra bajo sombra diversificada, que contribuye a conservar la biodiversidad y a proveer servicios ambientales (Moguel y Toledo, 1999; Giovannucci y Juárez, 2006).

En Veracruz, segundo estado productor de café en el país, en el ciclo 2010-11 fueron cosechadas 156,977 ha de cafetales, en las que se obtuvo una producción de 335,483 t de café cereza (SIAP-SAGARPA, 2011). De acuerdo con SAGARPA (2011), en su cultivo participan 94,608 productores. En la Zona Centro del Estado de Veracruz (ZCEV), se ubica el 92% de la superficie estatal plantada con cafetos (SIAP-SAGARPA, 2011) y el 88.5% de los productores (CRUO-UACH, 2011). En esta zona prevalece el sistema de producción de café bajo sombra, siendo *Inga* sp. la especie predominante en el estrato de sombreado, aunque están presentes alrededor de 50 especies nativas (López *et al*., 2012) y algunas introducidas como grevilea *Grevillea robusta*, piocho *Mellia azedarach*, bracatinga *Mimosa scabrella* y cedro rosado *Acrocarpus fraxinifolius*. El agroecosistema café es considerado un sistema biodiverso; sin embargo, el único producto con valor comercial que se obtiene es el fruto de café, por lo que es necesario aprovechar la referida biodiversidad como factor que contribuya en la diversificación del

ingreso de los cafeticultores y sus familias. Una alternativa sería la implementación de estrategias que optimicen las formas tradicionales y rústicas de manejo de fincas de café bajo sombra (Pagiola y Ruthenberg, 2006) e incorporen prácticas de preservación de la diversidad biológica asociada al cafetal. Lo anterior puede hacerse mediante la integración de una biodiversidad planificada (Vandermeer y Perfecto, 1998; Boege, 2002), que posibilite un aprovechamiento del agroecosistema café tendiente al logro de rentabilidad de la finca.

Considerar las bases tecnológicas en que operan los cafeticultores es fundamental, ya que la tecnología generada mediante los procedimientos convencionales de investigación agropecuaria, muchas veces no es apropiada a las circunstancias y entornos socioculturales y económicos de los pequeños productores bajo economías campesinas. Es decir, la oferta tecnológica no siempre es pertinente a las condiciones físico-biológicas, socioeconómicas e histórico-culturales que determinan la estructura y el funcionamiento de la pequeña agricultura. En consecuencia, dada la complejidad del desafío de generar tecnología mejorada y adoptable por el pequeño productor, la investigación científica en materia de agricultura, tiene el compromiso de considerar una aproximación sistémica a la realidad, en la ejecución de proyectos con miras a resolver u optimizar vacíos de conocimiento en los procesos de producción agropecuaria y forestal (Escobar y Berdegué, 1990).

Los estudios de diagnóstico son fundamentales para contar con aproximaciones en el conocimiento de la realidad de la agricultura regional, tomándose este conocimiento como base para iniciar proyectos de mejora de las actividades productivas, con estrategias definidas acordes a la problemática y necesidades identificadas (Apollin y Eberhart, 1999) en todos los eslabones de la cadena de valor. Para la integración de un diagnóstico en el cultivo de café, se consideran aspectos biofísicos, socioeconómicos y tecnológicos; los primeros delimitan, cuantifican y caracterizan el espacio geográfico objetivo, los aspectos socioeconómicos permiten reflexionar sobre las condiciones y circunstancias en que operan los cafeticultores, y por último, el análisis agrotecnológico considera la apropiación de tecnología en los sistemas y procesos de producción (López *et al*., 1999). Mediante el enfoque de sistemas de producción, se trata de caracterizar y jerarquizar los principales problemas a los que se ven confrontados los agricultores, con el fin de analizar sus causas, sean éstas de

carácter técnico, económico, social, histórico-cultural o ambiental (Eberhart, 1998). De esta manera, los estudios de diagnóstico de sistemas, son una etapa previa e indispensable para la elaboración e implementación de cualquier proyecto de desarrollo agrícola, ya que, mediante la interpretación dinámica de un contexto, en un mismo tiempo, situación y espacio geográfico, a través de métodos más explicativos, aplicando el enfoque sistémico al análisis del medio rural, conllevan a mejores planteamientos en pro de los agricultores (Apollin y Eberhart, 1999).

Así, el diagnóstico de sistemas agrícolas es un trabajo científico primordial, mediante el cual es posible explicar cómo conciben y entienden sus problemas los agricultores, además de comprender algunos de los fundamentos del por qué de sus prácticas en los procesos de producción (González *et al*., 1980; Doorman, 1990; Doorman *et al*., 1991). De esta forma, el objetivo general del diagnóstico de sistemas agrícolas es diseñar e implementar proyectos de desarrollo rural apropiados, tanto a las necesidades regionales como a las condiciones de los productores (Dufumier, 1988). En el presente capítulo se expone la descripción participativa del manejo de fincas de café, problemática que viven los cafeticultores y planteamiento de alternativas de solución en el ámbito de tecnologías disponibles en la producción de café en la ZCEV.

3.2. Antecedentes

Las instituciones públicas de investigación en México, convencionalmente estructuradas por disciplinas científicas o por cultivos, concentrándose en aspectos de maximización de rendimientos, han dado escasa prioridad a la interacción con los usuarios de tecnologías. Este enfoque tradicional del quehacer científico, ha puesto en riesgo la sostenibilidad en aras de la productividad de los procesos agrícolas (Ekboir *et al*., 2003); toda una visión lineal de la ciencia que ha tenido como consecuencia una disminución del apoyo social a las instituciones de investigación del país. Sin embargo, ante los procesos de globalización y apertura de mercados, el paradigma científico de investigación lineal está siendo expuesto a nuevos procesos, lo que ha obligado a las instituciones de investigación a una reestructuración orientada a mejorar su eficiencia y pertinencia, en relación con los resultados producidos e insumos requeridos, enfocando sus sistemas y programas a temas que la sociedad

considera relevantes (FAO, 2006). Esta es una perspectiva sin duda diferente, donde el contexto es la referencia y la interacción la estrategia, para construir innovaciones sostenibles bajo principios éticos (de Souza *et al*., 2005).

Factores y metodologías en los estudios de diagnóstico

Las metodologías de diagnóstico para sistemas agrícolas complejos comprenden escalas de estudio que contemplan como último nivel la finca (Ramakrishna, 1997; Krishnamurthy y Ávila, 1999). Para entender el sistema de producción de fincas, deberán clasificarse los diversos factores ambientales a los que responde el agricultor, e identificar algunas fincas locales en las que esos factores estén expresados (Harwood, 1986). Por ello, como parte de la estrategia de generación de tecnología apropiada, los métodos participativos son esenciales en el proceso (Buckles y Tripp, 1993). Entre las técnicas eficientes se incluye el Taller de Apreciación Rural Rápida (Ferran, 1993) y la aplicación de entrevistas estructuradas como una primera aproximación de inferencia sobre el sistema de producción (López *et al*., 2004). El proceso metodológico seguido para el caso de la cafeticultura en la ZCEV fue la ubicación que tienen los productores y sus fincas dentro de un espacio geográfico, y el posterior registro de variables sobre el productor, la unidad de producción y el agroecosistema (López, 1995).

El café dinamiza la economía en las regiones productoras, por lo que es el cultivo perenne más importante de México, y por su misma naturaleza, lleva a los agricultores a invertir, en la medida de lo posible, en el manejo de sus fincas. Eso ha contribuido a que el café sea un factor de identidad cultural en las regiones cafetaleras, razón por la cual los cafeticultores han acumulado conocimientos en relación al agroecosistema café, pero pocas veces se les ha consultado formalmente sobre tales experiencias (Escamilla, 2007). Sin embargo, para los pequeños y medianos cafeticultores cada vez es menos rentable producir café (Contreras, 2010), en tal forma, que esta difícil y sistemática situación descapitalizante de la cafeticultura local, pone en riesgo que todo un modo de vida pueda desaparecer para siempre (Contreras y Hernández-Martínez, 2008). Paradójicamente, mientras los cafeticultores experimentan crecientes pérdidas, cada vez hay más interés en la producción sostenible de café y más oportunidades de agregar valor al café cereza cosechado (Contreras, 2010).

Debido a que en el mercado del sector gourmet, hay déficit de café de alta calidad, los cafeticultores bajo economías campesinas podrían sacar provecho de esas tendencias si supieran cómo hacerlo. Sin embargo, a causa de su numerosa población, resulta extremadamente complicado hacerles llegar a los productores, los grandes cambios que están ocurriendo en cuanto a nichos de mercado y tendencias de la demanda.

El conocimiento local. Frecuentemente las acciones de desarrollo rural promueven enfoques de producción y tecnologías poco apropiadas y la gente rehúsa su adopción, porque considera que no están acordes con sus necesidades y en armonía con sus sistemas de producción. Lo anterior hace necesario crear respuestas a estos vacíos de conocimiento en un entorno agrícola específico, para lo cual es fundamental tomar en cuenta el concepto de conocimiento local (Sinclair y Walker, 1999), ya que, a partir de éste, es posible establecer una línea de base que contemple el conocimiento de la población sobre los recursos locales y su concordancia con acciones de desarrollo que se quieran implementar en las condiciones específicas de cada zona (Cerdán, 2007).

El conocimiento local se entiende como el aprendizaje, razonamiento y percepción que tiene la comunidad de productores en torno a una temática específica vinculada a su vida cotidiana (Joshi *et al*., 2004); es pertinente contemplar que este conocimiento local, aunque es generalmente válido, y lógicamente explicable, no siempre es verdadero. A pesar de ser la resultante de la interacción entre educación y experiencia, el conocimiento local es susceptible al cambio en respuesta a factores de índole cultural, tecnológica o económica (Toledo *et al*., 2003), por lo que la adopción de nuevas tecnologías siempre ha sido posible. Sin embargo, muchas veces el rechazo a innovaciones tecnológicas, también acontece debido a la escasez de metodologías efectivas que involucren a la gente, en la identificación y desarrollo de la tecnología apropiada, basada en sus necesidades sentidas, problemática percibida, oportunidades de progreso visionadas y en sus formas de aprovechamiento de los recursos, lo cual suele ser muy particular en cada comunidad.

Economía campesina, diversificación productiva. Para lograr el desarrollo rural preservando los recursos naturales sin transformaciones extremas de las unidades campesinas, es necesario planear con los actores del desarrollo,

considerando como primer objetivo el autoabasto y no la producción comercial, sobre todo en áreas caracterizadas por una alta complejidad ecogeográfica y una gran riqueza biológica y genética (Boege, 2002). Debe darse prioridad al entendimiento de las interacciones entre los aspectos biofísicos y socioeconómicos de la producción campesina, para lo cual es necesario accionar un conjunto de variadas metodologías que caen dentro de la denominada "investigación en sistemas de producción" (Pillot, 1993), a cuyos resultados suelen aplicarse técnicas estadísticas y métodos multivariados a fin de determinar la distribución de las unidades de producción y los productores que se asocian a ellas, confirmándose así la tipología de productores (Dufumier, 1993).

La economía campesina en su acepción más contemporánea se define como un modo de administrar la tierra y sus recursos naturales con la participación de la familia para garantizar la reproducción de la unidad familiar, generando ingresos producidos en el predio y adicionalmente ingresos extraprediales para la satisfacción de las necesidades familiares (MISEREOR, 2006). Un rasgo importante de la producción campesina es su relativo alto grado de autosuficiencia, al consumir una parte sustancial de su propia producción y generando excedentes para el mercado, donde la familia campesina funciona a la vez como una unidad de producción, consumo y reproducción (Toledo, 1992). Así, mientras la unidad de producción moderna tiene como fin conseguir la cantidad de producto que proporcione el mayor nivel de beneficio monetario, registrándose el consumo de la mayor parte del bien producido afuera de la unidad, la unidad campesina trabaja con el propósito de lograr volúmenes suficientes de productos para satisfacer sus necesidades (Núñez y Díaz, 2006).

Asimismo, la producción rural contempla un carácter tanto ecológico como económico en sus procesos, ya que el campesino hace intercambios con el ecosistema y el mercado; sin embargo, la producción campesina es una economía de subsistencia porque su base está más sustentada en los productos cosechados. En respuesta, los campesinos tienden a realizar una producción no especializada basada en el principio de diversidad de recursos y prácticas productivas, evitando la especialización de sus espacios naturales y de sus actividades productivas, un rasgo intrínsecamente contradictorio con las tendencias predominantes de la mayoría de los proyectos de modernización rural (Toledo, 1992). No obstante, cualesquiera que sean las formas y modos de

utilización agrícola de la tierra, éstas han ignorado el recurso arbóreo en los procesos productivos y diseño de espacios de las unidades de producción. En este sentido, el reto es identificar y desarrollar sistemas que combinen cultivos perennes con el establecimiento de árboles, como es el caso del cafetal, entre otros sistemas agroforestales.

Tipología de productores. Precisar la tipología, es una herramienta metodológica que tiene como propósito sintetizar una serie de elementos o características, para identificar grupos o tipos discretos del hecho o fenómeno en estudio o de interés (Gabriel, 2003). Después de un manejo conceptual sobre agricultura campesina y agricultura empresarial, la CEPAL (1982), estructuró una tipología de productores del agro mexicano tomando referentes como el objetivo de la producción, el origen de la fuerza de trabajo, la tecnología, la procedencia de los insumos y el destino de los productos, así como los riesgos e incertidumbre en los procesos.

Las tipologías de productores de café fueron definidas por Santoyo *et al*. (1996), con base en el nivel de tecnología utilizada, producto principal con que se integran al mercado y el tamaño de los predios. Estudios de diagnóstico con cafeticultores de la Zona Centro del Estado de Veracruz, llegaron a definir tres grupos con características particulares de tamaño de fincas, integración vertical a la cadena productiva y sistemas de producción, entre otras (López *et al*., 2007). Principalmente los grupos fueron definidos con base en el tamaño de finca y en su forma de hacerse de ingresos (López *et al*., 2004).

La agroforestería en la cafeticultura mexicana

En el mundo, 25 millones de productores de 56 países cultivan café en 10.2 millones de ha (ICO, 2006; Pohlan, 2006). El 75% de los cafetales son pequeñas fincas que van desde menos de 1 ha hasta 10 ha, manejadas principalmente mediante mano de obra familiar (Jeffrey, 2003). Aproximadamente 34% de la producción mundial del grano de café, y 30% de la superficie cultivada, se localiza en el norte de Latinoamérica (Vandermeer, 2003), con el distintivo de la presencia de árboles en las plantaciones. La cafeticultura en Mexico se caracteriza por la diversidad productiva, como manera de amortiguar adversidades del clima y reducir la dependencia excesiva de un mercado al que se acude en desventaja. Esta diversidad productiva, realizada mediante una

estrategia múltiple de manipulación del espacio natural (Núñez y Díaz, 2006), no sólo implica la aplicación de la ciencia y de la técnica moderna, sino también de un cúmulo de experiencias prácticas contenidas en los saberes campesinos comunitarios.

En México existen regiones donde los cafeticultores han diseñado agroecosistemas diversificados que incluyen la coexistencia de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas con el cultivo de café, y que en algunos casos implica la preservación de importantes remanentes de la vegetación nativa (Moguel y Toledo, 2004). Estos agroecosistemas, son ejemplo de las bondades ecológicas y productivas de la agrobiodiversidad en la agricultura; en la literatura científica, esta forma de uso de la tierra, se conoce como agroforestería. Las variantes generales de los sistemas agroforestales son tres: 1. Sistemas agrosilvícolas, donde cultivos agrícolas se asocian con árboles o arbustos, 2. Sistemas silvopastoriles, donde los árboles se asocian con pastos y ganado, y 3. Sistemas agrosilvopastoriles, que incluyen árboles, cultivos y el pastoreo de animales (Flores *et al*., 1994). Estos últimos están más limitados a la agricultura de traspatio (Krishnamurthy *et al*., 2003).

El café bajo sombra es un tipo de agroforestería fundamentada en saberes campesinos sobre aspectos de fenología, usos, distribución y atributos de las especies arbóreas asociadas al cafetal (Budowski, 1993; López *et al*., 2009), donde los pequeños cafeticultores efectúan un manejo eficiente de la plantación, operando procesos agrícolas amigables con la naturaleza (Fischersworring y Robkamp, 2001), siendo una estrategia de produción desarrollada en respuesta a la problemática de café y a la cada vez más disminuida superficie promedio de la finca de café. En la ZCEV el 90% de cafeticultores posee menos de 2 ha; sin embargo, esta proporción de pequeños productores son dueños de casi el 60% de la superficie productora de café en Veracruz y aportan alrededor del 43.1% de la producción estatal, con un rendimiento promedio de 2.25 t ha^{-1} (SIAP, 2011). Lo anterior indica el potencial de la cafeticultura a escala familiar, si tan sólo se lograra producir por hectárea el doble de la media actual estatal.

Estudios recientes del diagnóstico en la cafeticultura nacional y estatal

La compleja problemática de la cafeticultura nacional llevó al diseño de una "Estrategia de Innovación hacia la Competitividad en la Cafeticultura Mexicana", donde inicialmente se contempló la capacitación de técnicos extensionistas y la realización de estudios de diagnóstico en la cadena productiva café (CRUO-UACH, 2011).

Diagnóstico nacional. La Universidad Autónoma Chapingo, a través del CRUO-Huatusco, coordinó actividades de agentes de cambio y tomadores de decisiones en la estructuración del "Plan de Innovación en la Cafeticultura de México" (SAGARPA, 2011); en el plan se resalta lo difícil que es implementar programas de rehabilitación de plantaciones en el país, ante escenarios tan adversos al cultivo y producción de café, sobre todo en la fase de producción primaria. Asimismo, la diversidad agroclimática, las distintas tipologías de productores y los niveles de tecnología aplicados en sus procesos de producción, demandan atención específica acorde con la problemática regional. El equipo de trabajo que elaboró el referido plan de innovación, asienta que la problemática más tangible de la cafeticultura mexicana es la baja productividad, de alrededor de 8 Qq ha^{-1}; principalmente a causa plantaciones seniles, que en algunos casos rebasan los 60 años de edad, suelos degradados por prácticas inadecuadas de manejo de fincas, incremento de problemas fitosanitarios y la consecuente descapitalización de productores que imposibilita la inversión en la rehabilitación y manejo técnico de plantaciones, con fines de alcanzar volúmenes rentables de producción y logro de calidad en el grano de café cosechado.

Diagnóstico de la cafeticultura veracruzana. Mediante la realización de talleres para un Diagnóstico Rápido Participativo, la Universidad Autónoma Chapingo, a través de su Centro Regional Universitario Oriente (UACH-CRUO), con sede en Huatusco, Ver., priorizó los problemas estatales aplicando un factor de importancia regional. Los resultados reportados indican que la edad avanzada de los cafetales, descompensación nutrimental de los cafetos y problemas fitosanitarios, en especial los nematodos, son los principales problemas técnicos. En cuanto al factor ambiental, el desorden en la manifestación del clima, expresado como "cambio climático", fue el principal problema. Los apoyos insuficientes, la fluctuación de precios, precio alto de

insumos y la rentabilidad baja de la cafeticultura, fueron señalados como factores componentes de la problemática económica. Desde el punto de vista social, la falta de asistencia técnica, organización inapropiada de productores y el intermediarismo, fueron señalados como los factores de mayor importancia (CRUO-UACH, 2011). Así, ante una problemática compleja y diversa, quienes colaboraron en la sistematización de la información en referencia, indican la necesidad de conformar una red en la cadena productiva que trabaje por un mismo propósito en la cafeticultura veracruzana. Al respecto, Contreras (2011), informó sobre el trabajo de la red agroecológica de innovación para el desarrollo sustentable de la cafeticultura en el centro de Veracruz, con el objetivo principal de consolidar acciones conjuntas entre grupos de productores, centros de investigación e instancias gubernamentales en pro de la cafeticultura en la zona referida.

Diagnostico de productores en la ZCEV. En un trabajo realizado en Atzalan, Coatepec, Huatusco y Misantla, cuatro regiones de la Zona Centro del Estado de Veracruz, se aplicaron 100 entrevistas estructuradas por región, y se generó una tipología de productores de café, definiéndose tres grupos: 1. Productor comercial, 2. Productor con finca diversa, y 3. Productor con ingreso extrafinca, cuya característica común es que, del total de sus ingresos, más de un 70% proviene del cafetal (López *et al*., 2004). Una sinopsis de los mismos, se describe enseguida, considerando categorías de cafetales descritas por Escamilla y Díaz (2002).

Productor con cafetal especializado. El promedio de edad de este grupo es de 54 años, y de éstos, 29 los han dedicado a la cafeticultura. Sus cafetales tienen una extensión media de 6 ha con arreglos topológicos menores a los 2 x 2 m, con densidades mayores a 3,500 cafetos por hectárea, obteniendo un rendimiento ligeramente mayor al promedio en la ZCEV. Son cafeticultores con una mayor integración vertical a la cadena agroindustrial café y con mayor visión de mercado, por lo que este grupo tiende a no trabajar fuera de la finca, y si lo hace, es como comerciante. Son afectos a mejorar sus procesos productivos, con un nivel de tecnificación de alto a medio. Sus sistemas especializados ofrecen poca oportunidad de diversificación productiva.

Productor con cafetal en policultivo comercial. En promedio cuentan con 47 años de edad, de los cuales, 21 los han ocupado en la actividad cafetalera.

Sus cafetales son en promedio de 4 ha con arreglos topológicos mayores a los 2 x 2 m, con densidades de población de entre 1,500 a 2,500 cafetos por hectárea, lo que podría ser un indicador de cafeticultores que convergen en fincas con cierto grado de diversificación, tanto en el estrato arbóreo, como en las variedades de café que conforman el estrato medio. Sin embargo, el dosel de árboles de sombra no se maneja con criterios silvícolas y esto genera características como torceduras o bifurcaciónes que disminuyen la calidad y el valor del producto final. Estos productores no tienen fincas especializadas, pero la diversificación que presentan no se hace con fines productivos. Sus rendimientos se basan en las labores culturales, incluyendo la poda selectiva de cafetos.

Productor con cafetal en policultivo tradicional. Edad promedio de 48 años, de los cuales, 21 han dedicado a la cafeticultura; el 70% de sus ingresos provienen de ella y cuentan con extensiones promedio de 2 ha de cafetal. Sus arreglos topológicos son mayores a los 2 x 2 m, dando como resultado densidades de 500 a 1,500 plantas por hectárea. Estos productores dependen de manera importante del ingreso por el trabajo extrafinca, debido al tamaño de sus fincas y al escaso manejo técnico que le dan a ésta. Su baja productividad se explica por el nivel tecnológico aplicado que consiste en una o dos limpias y cafetales con las más bajas densidades de población.

3.3. Sistematización estadística de variables registradas en el OC-ZCEV

Un análisis del contexto biofísico y socioeconómico, así como de las oportunidades y limitaciones que lo acompañan, lo ofrece la etapa de diagnóstico, al mostrar una visión del sistema de producción y de los productores y sus familias (Somarriba, 2009), ya que estos estudios sistematizan conocimiento básico sobre la situación real de la comunidad o región, definiendo al final prioridades de desarrollo (Doorman *et al*., 1991), por lo que deben contemplarse los factores y variables, además de sus indicadores, en el instrumento a aplicar (López, 1995), a fin de registrar información que fundamente el logro de resultados y objetivos del diagnóstico.

Registro de información directa obtenida mediante el diagnóstico

Cuando los estudios de diagnóstico tienen objetivos sobre toda la cadena agroindustrial café y se propone el análisis situacional de la cafeticultura en un ámbito dado, se deben realizar diagnósticos integrales, reflejándose en los métodos utilizados, todos los aspectos relevantes de la cadena productiva. Cuando los estudios de diagnóstico tienen objetivos limitados a sólo algunas variables, es posible hacer diagnósticos parciales registrándose aquellas que den información sobre el productor, la unidad de producción, los flujos del mercado local o regional y evaluaciones de rentabilidad de la inversión. Para este fin se pueden implementar talleres participativos y encuestas, con técnicas e instrumentos variados.

El Taller de Comunicación-Evaluación Rural Participativa (TC-ERP). Los talleres participativos en contextos rurales son un escenario creado en el ámbito de una comunidad o entorno regional para producir, analizar e intercambiar conocimientos, ideas, puntos de vista y percepciones sobre una temática previamente determinada (GEA, 1993; Anyaegbunam *et al*., 2008), en este caso en torno a la cafeticultura regional, proponiéndose el sistematizar los procesos locales de producción de café y del uso y manejo de los recursos naturales. El diseño de métodos participativos como los instrumentos de educación y transformación social, tienen un papel fundamental (Osorio y Contreras, 2009). Como una primera acción para el diagnóstico de la producción primaria de café en el ámbito de la ZCEV, se consideraron las regiones productoras de café tomando en cuenta el OC y productores que lo conforman. Para esto se elaboró un programa de actividades y se convocó a través de representantes de cada uno de los consejos regionales que constituyen el Consejo Estatal de Productores de Café del Estado de Veracruz, A.C. En el taller se consideraron como inicio, pláticas introductorias dirigidas al pleno de productores asistentes donde se abordaron aspectos técnicos sobre el cultivo de café, dejando abiertas las opciones locales de manejo para abordar éstas mediante instrumentos trabajados participativamente. La información recabada a través de los instrumentos incluyó el registro del paquete tecnológico regional aplicado, sus costos, rendimientos y precios alcanzados por sus productos cosechados, entre otros.

Aplicación de entrevistas estructuradas. Otro método complementario al diagnóstico de la cafeticultura en su fase de producción primaria, en un ámbito interregional, fue la aplicación de entrevistas estructuradas a los 59 productores del OC-ZCEV. Las entrevistas son instrumentos no estandarizados para el registro de datos mediante un diálogo a manera de interrogantes. La entrevista estructurada consiste en la obtención de información directa de parte del entrevistado, en una conversación que fluye en ambos sentidos (entrevistador-entrevistado), generándose condiciones para obtener información a fin de lograr los objetivos planteados (Galán, 2009). La entrevista estructurada que se aplicó a los productores de café del OC-ZCEV, se estructuró mediante los factores, variables e indicadores que se muestran en el Cuadro 3.1, con el propósito de hacer un diagnóstico sobre las condiciones en que operan los cafeticultores en el espacio geográfico de la ZCEV.

CUADRO 3.1. FACTORES Y VARIABLES CONSIDERADOS EN LA ENTREVISTA ESTRUCTURADA.

FACTORES	VARIABLES	INDICADORES
Los productores	Datos personales	Género, edad, tiempo como cafeticultor.
	Escolaridad	Grado de escolaridad.
	Acceso a la información	Escrita, radio, televisión, casa comercial, de productor a productor, eventos de difusión masiva.
	Formas de organización	Social, crédito, productiva.
Los cafetales	Especies de sombras	Nativas, introducidas, temporales, agrícolas.
	Estructura de las fincas	Tipo de cafetal: rústico, policultivo diverso, policultivo simple, monocultivo o a pleno sol.
	Grado de tecnificación	Limpias, fertilización y control fitosanitario.
Las unidades de producción	Tamaño de la finca	Superficie plantada con café.
	Productividad	Rendimiento por hectárea.
	Comercialización	Valor agregado.

Conformación de la base de datos. A cada una de las preguntas realizadas se le asignó una clave a fin de detallar la base de datos (Microsoft Excel) construida previamente, e ingresar las respuestas tanto de variables cuantitativas como cualitativas contenidas en la entrevista estructurada. De la hoja de cálculo Excel, los datos fueron exportados al programa MINITAB 15, versión 2007, para realizar los análisis correspondientes; en una primera fase el análisis de frecuencias. Para el análisis multivariado, fueron consideradas variables relacionadas con las características de los productores, los cafetales y a la unidad de producción; los indicadores para esto se muestran en el Cuadro 3.2.

CUADRO 3.2. VARIABLES CUANTITATIVAS CONSIDERADAS PARA UN ANÁLISIS MULTIVARIADO DE DATOS.

INDICADOR	FÓRMULA DE OBTENCIÓN
1. Índice de valor agregado	Se consideraron las tasas de retorno conforme a método reportado en informe de proyecto (INIFAP, 2009).
2. Ingreso de finca de café	Se tomó en cuenta cada uno de los porcentajes obtenidos de la información registrada con los productores.
3. Índice de fuentes de ingreso	Se determinó la proporción del ingreso por cada una de las actividades productivas.
4. Índice de manejo de fincas	Registro de la intensidad de manejo de la finca, con base a tres prácticas fundamentales: 1. Control de la maleza, 2. Fertilización, y 3. Control de plagas y enfermedades.
5. No. de especies arbóreas	Registro del número de especies arbóreas que componen el estrato de sombreado del cafetal.

Dada la magnitud de la base de datos como resultado de la amplitud del estudio y la cantidad de variables contenidas en la entrevista estructurada, se realizó una selección previa de variables cuantitativas y el cálculo de índices; un índice puede ser conceptualizado como un instrumento de medición por medio del cual se asignan medidas a las unidades de análisis en función de la posesión de algún indicador social o económico (Briones, 1995). El cálculo del índice se rige por la expresión $I_i = x_i/max\{n \epsilon\ Z/n \leq x\}$; donde x_i es un valor de la serie de datos y $max\{n \epsilon\ Z/n \leq x\}$ representa el valor máximo de la serie de datos. Estos índices fueron calculados a partir de variables cuantitativas, en las cuales se tomaron los pesos de las variables representativas resultante del Análisis de Componentes Principales (Cuadro 3.4), como son el ingreso proveniente de la finca de café, ingreso de otros productos agropecuarios y forestales de la unidad de producción (índice de fuentes de ingreso) e integración a la cadena de valor (índice de valor agregado).

Costos de producción e ingresos netos

Mediante el TC-ERP realizado en cinco regiones de la ZCEV, se registró información directa de cafeticultores, describiéndose las labores e insumos utilizados en sus procesos de producción de café cereza, el costo total de producción (CP), sus rendimientos estimados, el precio promedio de venta del fruto y el ingreso neto (IN) obtenido, llegándose a estimar que en el ciclo de cosecha 2010-11, la rentabilidad de la inversión fue positiva (Figura 3.1). El cálculo

de la tasa de retorno [(IN/CP) (100)] se hizo para cada una de las regiones; asimismo, el cálculo de los ingresos por café, se hizo considerando los costos de producción por región, así como sus ingresos brutos, en el cultivo y venta de café cereza.

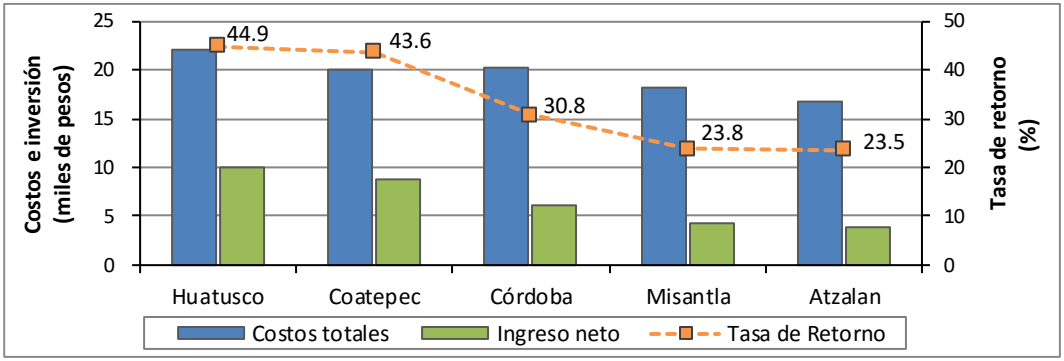


Figura 3.1. Costos de producción por hectárea de café cereza y tasa de retorno calculada a la inversión en cinco regiones de la ZCEV.

Las tasas de retorno indican la utilidad regional por cada $100 invertidos por los cafeticultores en sus fincas. Se observó, cómo en la región de Huatusco, donde las plantaciones de café fueron "atendidas", a pesar de la crisis de precios, la tasa de retorno fue del 44.9%. En estos talleres también se profundizó sobre el potencial de ingreso que podría representar el estrato de sombreado, si se implementara, mediante éste, la diversificación productiva de fincas, haciendo un aprovechamiento vertical de la superficie del cafetal. Así, la producción de café en la ZCEV favorece la presencia de un estrato de sombreado en la finca que preserva recursos base y a la vez representa una oportunidad para el logro de rentabilidad; también es potencialmente un proveedor de servicios ambientales, reduciéndo la dependencia a un producto único: el café cereza.

Estadísticas descriptivas

Los factores que se analizaron en la base de datos fueron los que más describían y a la vez caracterizaban a los productores, con variables e indicadores como: género, origen, grado de escolaridad, el hecho de saber leer y escribir, su organización y aprendizaje en el proceso productivo de su cafetal. Asimismo, para los cafetales fueron consideradas variables con indicadores sobre el

manejo realizado en la finca. Por otra parte, la unidad de producción contempló factores que involucran variables relacionadas con el volumen de la producción, la forma en que se comercializa el café, la manera en que la unidad de producción es fuente de ingreso para los cafeticultores, mediante otras actividades agropecuarias y forestales, así como también la proporción del ingreso por actividades extrafinca. Hay que tener presente, cuando los datos se muestran por subzonas, que estos son resultados que no infieren sobre éstas, ya que el OC-ZCEV, está diseñado estadística y espacialmente para inferir sobre la Zona Centro del Estado de Veracruz. Los factores, variables e indicadores se muestran en el Cuadro 3.3.

CUADRO 3.3. FRECUENCIA DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS EN LA ENTREVISTA ESTRUCTURADA QUE CARACTERIZAN A CADA SUBZONA DE LA ZCEV.

VARIABLE	INDICADORES	SUBZONA			ZCEV
		NORTE	CENTRO	SUR	
PRODUCTORES					
Género	Masculino	25.0	45.3	14.1	84.4
	Femenino	0.0	6.3	9.3	15.6
Origen	Regional	27.6	48.3	17.2	93.1
	De otra región	0.0	3.5	3.4	6.9
Sabe leer y escribir	Sí	21.5	46.2	16.9	84.6
	No	3.1	3.1	3.1	9.
	Sólo leer	0.0	0.0	0.0	0.0
	Sólo escribir	6.2	0.0	0.0	6.2
Grado de escolaridad	Sin escolaridad	3.4	5.2	1.7	10.3
	Primaria incompleta	1.7	5.2	3.4	10.3
	Primaria	15.5	19.0	6.9	41.4
	Secundaria incompleta	0.0	3.4	0.0	3.4
	Secundaria	6.9	8.6	1.7	17.2
	Preparatoria incompleta	0.0	1.7	0.0	1.7
	Preparatoria	0.0	5.2	3.4	8.6
	Superior	0.0	0.0	1.7	1.7
	Superior incompleta	0.0	5.2	0.0	5.2
Pertenece a alguna organización	Sí	6.6	12.1	11.0	29.7
	No	22.0	44.0	4.4	70.3
Tipo de organización	Política (asociación política)	0.0	0.0	0.0	0.0
	Gremial (sindicato)	0.0	0.0	0.0	0.0
	Político-gremial (CNC, CIDAC)	0.0	8.0	8.0	16.0
	De producción (SSS, SPR, ARIC)	8.0	20.0	12.0	40.0
	Otras	8.0	16.0	20.0	44.0
Cómo se informa técnicamente	Escrita	0.0	20.3	0.0	20.3
	Radio	0.0	1.7	3.4	5.1
	Televisión	0.0	3.4	0.0	3.4

CUADRO 3.3. FRECUENCIA DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS EN LA ENTREVISTA ESTRUCTURADA QUE CARACTERIZAN A CADA SUBZONA DE LA ZCEV.

VARIABLE	INDICADORES	SUBZONA			ZCEV
		NORTE	CENTRO	SUR	
Distribución de la fuente de ingreso	Casa comercial	0.0	1.7	1.7	3.4
	De productor a productor	13.6	10.2	13.6	37.4
	Otros	13.6	15.3	1.7	30.6
	Ingreso de la finca de café	17.8	34.4	13.3	65.5
	Otras actividades en la UP	10.0	3.3	4.4	17.7
	Ingreso extra finca	1.1	10.0	5.6	16.7
UNIDADES DE PRODUCCIÓN (UP)					
Forma en que vende el café	Cereza	24.6	39.3	14.8	78.7
	Pergamino	21.3	18.0	8.2	47.5
	Cereza y pergamino[&]	19.7	6.6	3.3	29.5
	Venta asociada a beneficio	0.0	0.0	0.0	0.0
	Torrefacción o tostador	0.0	3.3	0.0	3.3
Ingreso de UP	Ingreso por café	11.9	42.4	10.2	64.4
	Ingreso por otros productos de la UP	15.3	10.2	10.2	35.6
CAFETALES					
Tipo de cafetal	Rústico	3.3	7.5	5.8	16.7
	Policultivo complejo	10.0	23.3	6.7	40.0
	Policultivo simple	10.0	10.0	0.0	20.0
	Monocultivo	6.7	13.3	3.3	23.3
	A pleno sol	0.0	0.0	0.0	0.0
Rendimiento: t ha^{-1} (café cereza)	<3 t	13.6	11.9	5.1	30.5
	De 3.1 a 6 t	11.9	30.5	11.9	54.2
	De 6.1 a 9 t	1.7	5.1	3.4	10.2
	>9 t	0.0	5.1	0.0	5.1
Limpia	Sí	25.4	49.2	20.3	94.9
	No	1.7	3.4	0.0	5.1
Tipo de limpia	Productos químicos	5.1	8.5	6.8	20.3
	Mano de obra	22.0	44.1	11.9	78.0
	Coberturas	1.7	0.0	0.0	1.7
Fertiliza	Sí	6.8	40.7	10.2	57.6
	No	20.3	11.9	10.2	42.4
Tipo de productos	Productos químicos	7.0	44.2	7.0	58.1
	Productos orgánicos	4.7	27.9	9.3	41.9
Control de plagas y enfermedades	Sí	16.9	22.0	13.6	52.5
	No	10.2	30.5	6.8	47.5
Tipo de control	Productos químicos	14.3	14.3	14.3	42.9
	Mano de obra	17.9	10.7	7.1	35.7
	Productos biológicos	3.6	10.7	7.1	21.4

[&]Dato compuesto de los que venden cereza y/o pergamino.

El análisis de frecuencias indica resultados que sobresalen por sí mismos en sus tres factores contemplados: los productores, los cafetales y la unidad de producción. Es pertinente aclarar que el diseño de muestreo está hecho para inferir sobre la Zona Centro del Estado de Veracruz (ZCEV), como espacio geográfico de cobertura objetivo del proyecto FORDECyT 139378, operado por *Café In Red*, por lo que sólo el dato que corresponde a la columna "ZCEV" es el que infiere sobre el espacio geográfico en mención. Las Subzonas Norte (Atzalan y Misantla), Centro (Coatepec y Huatusco) y Sur (Córdoba y Zongolica), son subdivisiones didácticas que sólo refieren la proporción con la que contribuyen al dato que estadísticamente infiere sobre la ZCEV.

Los productores. Prácticamente nacieron y crecieron en la región productora de café de origen y son los varones quienes en su mayor parte ejercen la toma de decisiones sobre la finca de café en particular y en general sobre la unidad de producción. El 84.6% sabe leer y escribir, y un 41.4% cuenta con primaria completa; su sentido gregario para fines únicos en común, es decir, conformando una comunidad organizada de base, es prácticamente una debilidad de los cafeticultores de la ZCEV, cuando alrededor del 70% dice no pertenecer a una organización. Sus componentes tecnológicos aplicados en el manejo de fincas y procesos de producción de café en su fase primaria, los han aprendido de manera coloquial en charlas con otros productores o bien observando lo que hacen sus compañeros cafeticultores en sus fincas, por lo que es importante aplicar técnicas grupales cuando de transferencia de tecnología se trate (Tripp y Wolley, 1989; Vejarano, 1991; Buckles y Tripp, 1993; López *et al*., 1999). Llama la atención que el 65.5% de los ingresos de las familias productoras de café, provenga precisamente del cafetal. A finales de los años 90 y principios de la primera década del siglo XXI, hace aproximadamente unos 14 años, los ingresos provenientes del café, representaban el 75% del ingreso total de las familias de las regiones cafetaleras (López *et al*., 2004).

Los cafetales. Las plantaciones de café son en su mayoría sistemas en policultivo complejo, donde conviven árboles de la vegetación primaria, especies frutales y una amplia diversidad de especies agrícolas, generalmente para el autoabasto familiar. El manejo técnico de los cafetales tiende a ser alto, ya que la mayoría de los productores limpia, fertiliza y controla plagas y enfermedades. Sin embargo, rendimientos de menos de seis toneladas de café cereza, son los que prevalecen en el 84.7% de los productores. Los productos

químicos aún desempeñan un papel importante en el conjunto de insumos aplicados en el proceso productivo de café cereza.

La unidad de producción. Los productores y sus familias continúan actuando en la primera fase de la producción primaria, comercializando sus cosechas sin prácticamente valor agregado alguno, siendo sencillamente cereceros (Santoyo *et al*., 1996). No obstante, en esta situación, la unidad de producción aporta el 64.4% del ingreso, mientras que para otros productores representa un 35.6%. Este proceso donde áreas predominantemente cafetaleras comienzan un proceso de diversificación del paisaje y de los medios de vida de los hogares cafetaleros, lo explican Mora-Delgado *et al*. (2011).

Análisis multivariante

Una vez identificados los principales indicadores de la cafeticultura en la ZCEV, en acuerdo con la similitud de los atributos que caracterizan tanto a los cafeticultores como a las fincas de café, podrían presentarse agrupamientos de productores, con base a variables registradas en las regiones productoras de café (*Coffea arabica*). Los métodos estadísticos multivariantes ofrecen distintas técnicas y herramientas y son usados principalmente en la búsqueda de variables representativas de los verdaderos factores (también llamados variables latentes) que explican un fenómeno; en el caso presente, la tipificación de las fincas. Lo anterior permite manejar un número menor de variables, simplificándose los modelos estadísticos cuando el número alto de variables presenta condiciones problemáticas (Guajardo, 1999). Algunos de los métodos más conocidos y utilizados son: componentes principales, correlación canónica y análisis clúster (o de conglomerados).

Método de componentes principales y Dalenius-Hodges. El análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés) contempla procedimientos matemáticos que transforman un conjunto de variables correlacionadas en un conjunto menor de variables no correlacionadas llamadas componentes principales (Johnson y Wichern, 1998). El PCA permitió reducir el número de “variables” llamados componentes principales o factores, los cuales son una combinación lineal de las variables originales con la característica de ser independientes entre sí y con la disminución de su varianza captada por cada componente. Posteriormente, se realizó un proceso de

agrupación siguiendo el método de Dalenius y Hodges (1959), que es frecuentemente empleado para realizar la estratificación de índices de marginación y de rezago social, principalmente por instituciones que manejan información cuantiosa respecto a esta temática. El método consiste en la formación de estratos o grupos, cuya varianza del estimador sea mínima al interior de grupos y máxima entre los grupos, logrando que éstos sean lo más homogéneos posibles en su interior y lo más heterogéneos y diferenciables entre sí (INEGI, 2010). Los resultados asociados al PCA pueden observarse en el Cuadro 3.4.

CUADRO 3.4. PESOS DE LOS COMPONENTES QUE CONTRIBUYEN EN LA DEFINICIÓN DE GRUPOS DE PRODUCTORES.

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Edad del productor	0.266	-0.226	**0.553**	**-0.726**	0.213	0.018
Índice de agregación de valor (IAV)	0.137	**0.427**	**-0.622**	**-0.41**	**0.492**	0.045
Índice de fuentes de ingreso (IFI)	**-0.651**	0.089	-0.001	-0.312	-0.095	**-0.680**
Ingresos por café (IC)	**0.673**	0.004	-0.054	0.172	-0.050	**-0.716**
No. de especies de sombra (NSS)	0.157	**0.685**	0.153	-0.224	**-0.644**	0.131
Índice de manejo de fincas (IMF)	-0.095	**0.538**	**0.530**	0.357	**0.535**	-0.078
Proporción de varianza explicada	0.321	0.217	0.186	0.135	0.109	0.032
Varianza acumulada	0.321	0.538	0.725	0.859	0.968	1.000

Los pesos mostrados en cada uno de los componentes principales, están relacionados con el manejo del cafetal y variables inherentes al productor, en específico las relacionadas con el ingreso y forma de vender su cosecha de café. El índice de fuentes de ingreso considera, además del ingreso proveniente por venta de café, al obtenido por venta de otros productos agropecuarios de la unidad de producción. En el primer componente, las variables que más contribuyen son el índice de fuentes de ingreso (IFI) e ingresos por café (IC), en tanto que, en el segundo componente, son el índice de agregación de valor (IAV), número de especies de sombra (NSS) e índice de manejo de fincas (IMF); en conjunto, estos dos componentes explican el 53.8% de la variación. Si bien los coeficientes factoriales no son elevados, estos permitieron realizar la agrupación de productores de manera satisfactoria.

Tanto con las puntuaciones que resultaron del componente principal uno (CP1), como los del componente principal dos (CP2), se realizó la clasificación de tres

grupos de productores con la metodología Dalenius & Hodges. Para ambos componentes, la clasificación se realizó de forma independiente, resultando para ambos casos la estratificación en grupos como sigue: 1. Productores competitivos, 2. Productores medianamente competitivos, y 3. Productores mínimamente competitivos.

Una vez realizada la estratificación, se realizó una reclasificación que resultó de aplicar la "Ley del Mínimo de Liebig", llamada ésta a menudo simplemente como Ley de Liebig, mencionada así, por ejemplo, por Marvin (2001); la ley está fundamentada en principios agrícolas y la hizo notoria precisamente Justus Von Liebig al afirmar que "el crecimiento no es controlado por el monto total de los recursos disponibles, sino por el recurso más escaso". En el análisis multivariado presente, aplicando esta ley, se estableció que la competitividad no es una situación que se mide por las capacidades totales del productor en materia de cafeticultura, sino por la capacidad que el productor tiene para atender necesidades específicas del proceso productivo de café. Es decir, si de acuerdo al CP1 el productor es clasificado como competitivo, pero de acuerdo al CP2 es clasificado como medianamente competitivo, entonces por la combinación de ambos componentes el productor es considerado como medianamente competitivo. Los productores competitivos resultan de la combinación "Competitivo-Competitivo" tanto en el CP1 como en el CP2, definiéndose, por parte de los autores, como productor competitivo a aquél que esté ubicado en la expresión máxima del peso de los componentes, en el plano bidimensional del análisis multivariante.

En la Figura 3.2 se aprecia la agrupación de productores (diferente color) identificados con la técnica de estratificación de Dalenius-Hodges y la Ley del Mínimo de Liebig, como sigue: 1. El primer componente se asocia a un gradiente de competitividad; a la izquierda, se agrupan los productores cuyo IFI e IC es menor, mientras que en la parte baja del segundo componente, se agrupan los de menor IAV, NSS e IMF, formándose, mediante la interacción de los dos componentes a la baja, una agrupación de menor vínculo con la actividad cafetalera, y 2. En los extremos de mayor expresión de los componentes principales 1 y 2, se agrupan productores con mayor competitividad, es decir, con mayor fuente de ingresos por la actividad cafetalera, generándose por lo tanto un grupo intermedio de productores, entre ambos extremos, medianamente competitivos.

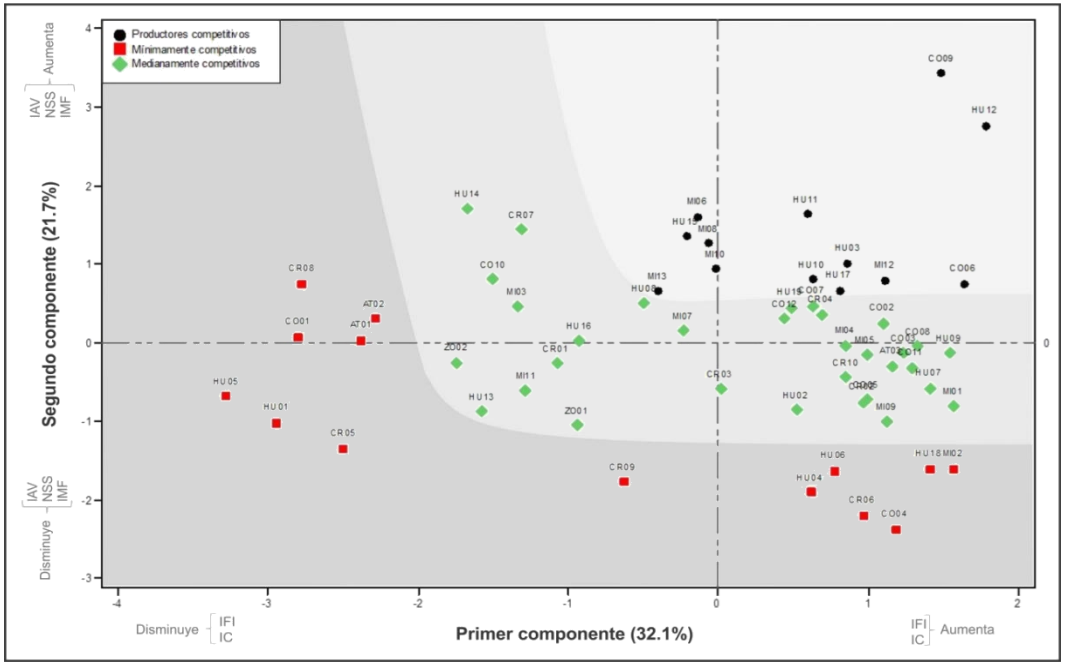


Figura 3.2. Plano definido por los dos componentes principales con mayor explicación de la varianza de seis variables inherentes a productores, el cafetal y la unidad de producción.

El cálculo de estadísticas descriptivas y conteos por variables que definieron los pesos de componentes principales, mostró que el ingreso por café se expresa 32 puntos arriba si se compara la agrupación "competitivos" con los "mínimamente competitivos", éstos últimos mucho más dispersos en acuerdo con la desviación estándar. El número de especies arbóreas en el sombreado de la finca, se expresa de manera mayor con la agrupación de competitivos, lo cual resulta con cierta incongruencia si no se explica que sólo se preguntaba por especies arbóreas maderables y nativas o locales. Las especies frutales, así como introducidas hacen confusa la interpretación de esta variable cuando de categorías de grupos se trata. La diversificación de las fuentes de ingreso por parte de los productores, se ve con mayor expresión en el grupo de los mínimamente competitivos, quienes con toda seguridad recurren al trabajo extrafinca para hacerse de los ingresos demandados por el abasto básico familiar. Además, la agregación de valor a la cosecha de café cereza, se ve poco atractiva por el grupo mínimamente competitivo, ya que todo parece indicar

que le es más rentable invertir su tiempo en otras actividades agropecuarias o trabajo extrafinca. Los tres grupos: competitivos, medianamente competitivos y mínimamente competitivos, no suelen estar diferenciados de manera importante por su edad (Cuadro 3.5).

CUADRO 3.5. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS POR GRUPO DE PRODUCTORES EN VARIABLES CUALITATIVAS.

VARIABLE	PRODUCTORES	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO
Edad del productor en años	Competitivos	53	12	32	86
	Medianamente competitivos	53	14	22	79
	Mínimamente competitivos	55	16	37	88
Ingresos por café (IC)	Competitivos	95	7	80	100
	Medianamente competitivos	85	22	34	100
	Mínimamente competitivos	63	39	8	100
Número de especies de sombra (NSS)	Competitivos	7	1	6	8
	Medianamente competitivos	5	2	1	8
	Mínimamente competitivos	3	1	2	6
Índice de fuentes de ingreso (IFI)	Competitivos	46	17	33	67
	Medianamente competitivos	47	17	33	67
	Mínimamente competitivos	62	29	33	100
Índice de agregación de valor (IAV)	Competitivos	37	19	24	78
	Medianamente competitivos	32	7	24	38
	Mínimamente competitivos	27	6	24	38

Variables categóricas

Cuando en los procesos de investigación se involucran factores sociales, es común encontrarse con variables categóricas como el género o la fuente de

ingresos, entre otras, cuyas medidas nominales, sólo obtienen datos con muy pocos valores y que, por su naturaleza, regularmente se les realizan análisis simples de proporciones para caracterizar sectores o en este caso tipologías (Cuadro 3.6).

Productores competitivos. Son productores con poco trabajo extrafinca, dedicados en casi su totalidad a la actividad cafetalera, por lo cual agregan valor al café cereza cosechado. En general no presentan un grado de escolaridad alta y son originarios de la región donde cultivan y producen café. Su problemática en la producción la asocian con el clima, los precios del café y la organización de productores.

Productores medianamente competitivos. Cuentan con un grado de escolaridad mayor que el resto de productores y su origen está en la región donde cultivan café. Se apoyan en algún trabajo extrafinca para complementar su ingreso que depende de la venta en mayor proporción de café cereza. Su problemática está relacionada con el clima, precios del café, organización de los productores y costo alto de los insumos.

Productores mínimamente competitivos. Nula agregación de valor a su cosecha y dependencia elevada del trabajo extrafinca. Su problematica productiva se relaciona con los precios bajos del café, costo alto de insumos y su poca o nula organización.

Distribución espacial de las agrupaciones mediante el análisis multivariado. Al hacer la distribución espacial de la tipología de productores, notoriamente se observa una dispersión aleatoria sin un patrón o tendencia que destaque la región productora de café como un factor de concentración de alguna tipología (Figura 3.3). Sólo es pertinente señalar que los productores competitivos se concentran en las regiones de Coatepec, Córdoba y Huatusco. Asimismo, los medianamente competitivos se les encuentran en prácticamente todas las regiones.

CUADRO 3.6. DESAGREGACIÓN DE CONTEOS POR GRUPO DE PRODUCTORES EN VARIABLES CATEGÓRICAS.

VARIABLE	INDICADOR	COMPE-TITIVOS	MEDIANAMENTE COMPETITIVOS	MÍNIMAMENTE COMPETITIVOS	TOTAL[1]
Variables relacionadas con el productor					
Género	Masculino	12	30	12	54
	Femenino	1	2	2	5
Origen	Regional	13	28	13	54
	Otra región		3	1	4
Nivel de escolaridad	Sin escolaridad	2	2	2	6
	Primaria incompleta	3	1	2	6
	Primaria	3	15	6	24
	Secundaria incompleta	1	1		2
	Secundaria	1	6	3	10
	Preparatoria incompleta		1		1
	Preparatoria	2	2	1	5
	Superior incompleta		1		1
	Superior	1	2		3
Comercializa-ción del café	Cereza	6	13	11	30
	Pergamino	1	9		10
	Cereza y pergamino	4	10	3	17
	Pergamino y tostado	1			1
	Cereza, pergamino y tostado	1			1
Actividades extrafinca	Ninguno	11	24	7	42
	Comerciante	2	8	5	15
	Empleado			1	1
	Otros			1	1
Variables que influyen en la problemática de la producción					
Ambientales	Clima	10	23	10	43
	Agua	3	5	2	10
	Plagas		2	1	3
	Enfermedades		2		2
Económicas	Comercialización	1	8	1	10
	Precios	8	19	10	37
	Créditos	2	1	1	4
	Beneficio		1		1
	Costo de producción	2	3	1	6
Sociales	Incomunicación	2	2	2	6
	Organización	9	11	5	25
	Legales		3		3
	Capacitación		3	1	4
	Insumos	2	13	5	20

[1]La suma total es menor a 59 debido a que algunos productores no contestaron.

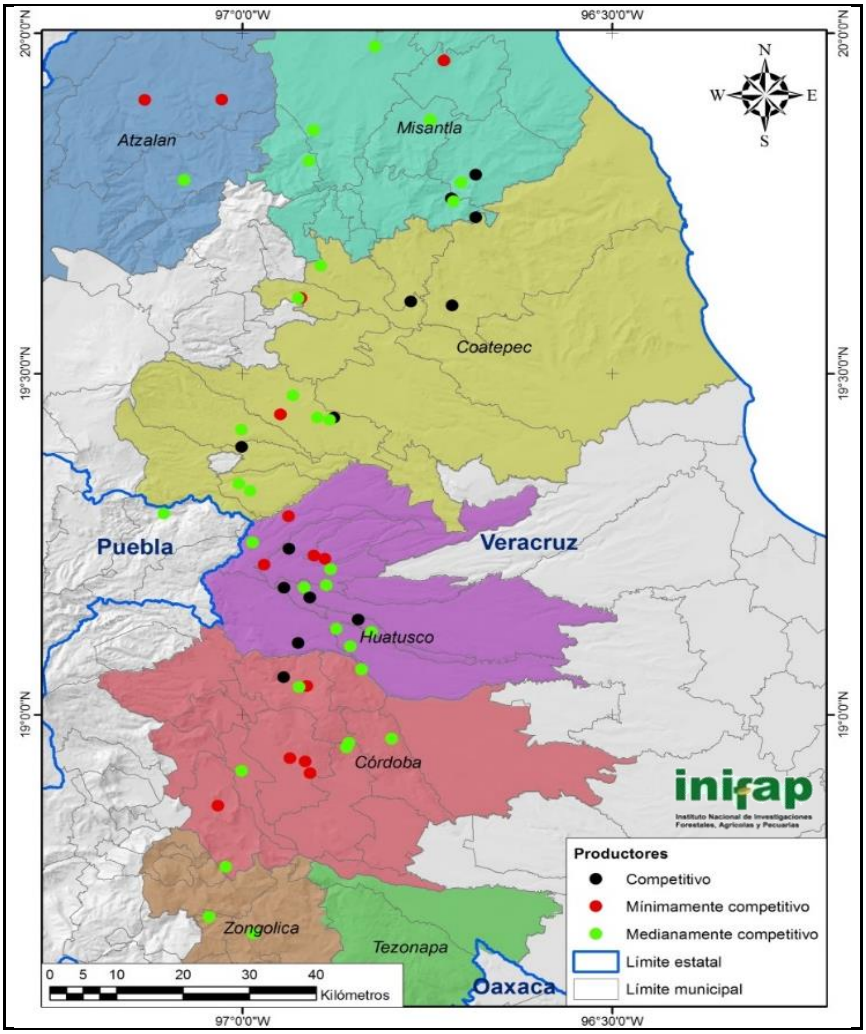


Figura 3.3. Agrupaciones formadas por el análisis multivariado y su distribución en el espacio geográfico definido por el OC-ZCEV.

La unidad de producción y su relación con los ingresos del productor

Una vez definidos los ingresos por café y el índice de fuentes de ingreso de los productores en las distintas regiones de la ZCEV, se observó una relación entre estos indicadores, mostrándose que los ingresos obtenidos por actividades

distintas a la cafeticultura, están en función de los ingresos provenientes de café (Cuadro 3.7).

CUADRO 3.7. RELACIÓN DE INGRESOS QUE SE OBTIENEN POR CAFÉ Y EL ÍNDICE DE FUENTES DEL TOTAL DE INGRESOS.

REGIÓN	PROMEDIO	
	INGRESOS POR CAFÉ (IC)	ÍNDICE DE FUENTES DE INGRESO (IFI)
Atzalan	67.0	61.4
Coatepec	41.7	89.0
Córdoba	56.7	76.8
Huatusco	47.4	81.8
Misantla	51.3	87.9
Zongolica	66.7	60.0

Los datos fueron representados en un gráfico de dispersión de puntos, a los cuales les fue ajustada una línea recta, con la finalidad de encontrar un modelo que explicara la relación entre ambas variables (Figura 3.4).

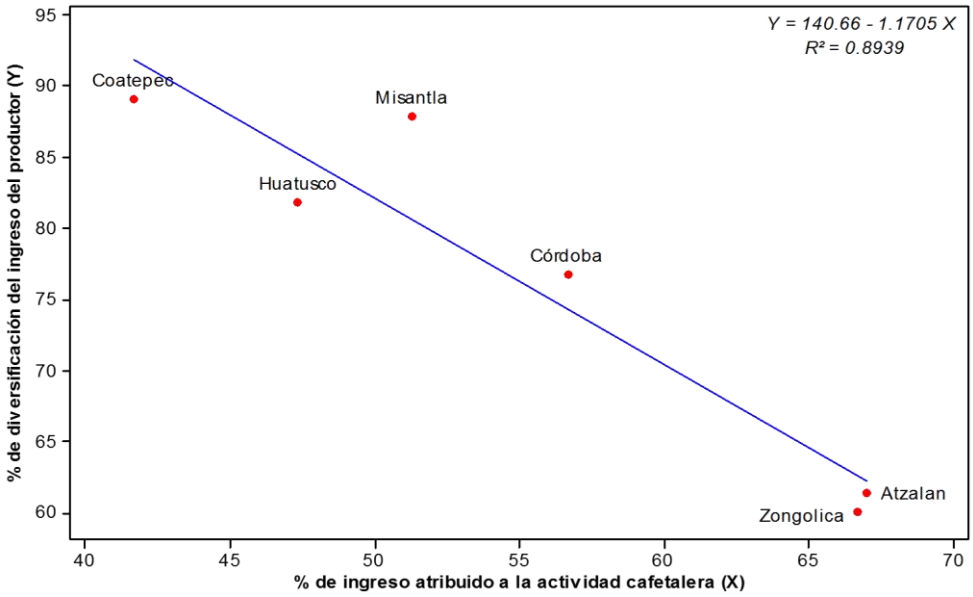


Figura 3.4. Representación gráfica de la relación entre el ingreso por café (IC) y el índice de fuentes de ingreso (IFI).

La distribución de valores de los datos en las coordenadas del cuadrante, sugirió el ajuste de un modelo lineal. La correlación lineal mostró un alto grado de asociación entre variables con un índice de: *r =0.9454* (*p=0.004*), es decir, una correlación altamente significativa. Asimismo, el modelo de regresión lineal *Y=140.66-1.1705X*, explica en un 89% cómo la diversificación de las fuentes de ingreso se reduce en 1.17%, si el ingreso por café aumenta en un punto porcentual.

3.4. Síntesis reflexiva

La descripción participativa del manejo de fincas de café. Los costos totales de producción de café por hectárea en la ZCEV fluctúan de $16,000.00 a $20,000.00 entre regiones, con rendimientos de 3 a 4 toneladas de café cereza y un precio promedio rural de campo de $8.00 a $10.00 por kilo de café cereza. Estas cifras de rendimientos, costos de producción y precios altos generaron tasas de retorno que reflejan rentabilidad alta en la cafeticultura, llegándose a lograr una tasa de retorno al capital invertido del 68.4% en la región de Huatusco, en el ciclo de cosecha 2010-11. Sin embargo, el precio promedio en 2011-12 fue de $7.00 por kilo de café cereza y en el ciclo 2012-13, apenas alcanzó un promedio de $5.50 por kilo de café cereza. En consecuencia, en este último ciclo los productores registraron pérdidas y la finca de café dejó de ser rentable.

Tipología de productores. Uno de los factores que en este caso definió tipologías de productores fue el ingreso. El grupo de productores identificado como competitivo, llega a tener ingresos provenientes del café, en una proporción del 95%, respecto al total, mientras que los productores identificados como mínimamente competitivos, obtienen el 63% del total de sus ingresos del café, con un dato mínimo que puede llegar a sólo un 8%. Los productores competitivos y medianamente competitivos, lo menos que llegan a obtener por ingreso proveniente del café, con respecto a su total, es de 80% y 34%, respectivamente. Los productores competitivos se distinguen por darle valor agregado a su cosecha y vender más de cerca al consumidor final, incluso café tostado y molido.

Problemática en la producción de café. Esta vez los precios no fueron el mayor problema externado por los productores, asombrosamente, también la gente

del campo está resintiendo los embates del clima y mencionaron a éste como el problema mayor, seguido por los precios bajos del café, problemática en la organización de productores con enfoque de agronegocios y el precio alto de los insumos.

Planteamiento de alternativas de solución. La producción de café mediante procesos certificados para mercados especializados, parece ser la salida para un 90% de productores de la ZCEV que tiene menos de 2 ha. En estas fincas con tamaños que se asemejan a un huerto familiar, la atención directa y constante del productor, puede propiciar condiciones para obtener cafés diferenciados con mercados fuera de bolsa, y así aspirar a una rentabilidad constante en la cafeticultura, tan sólo por venta de café. Sin embargo, esta pequeña cafeticultura también tiene potencial para implementar prácticas de diversificación productiva de fincas, sobre todo en el estrato de sombreado, asociando maderables y otras especies de valor para el autoabasto y el mercado.

Así, con grano de calidad para mercados especiales en cafetales diversificados productivamente y con posibilidad de acceder a un pago por servicios ambientales, se tendrían altas expectativas de contar con ingresos suficientes para que los pequeños cafeticultores y sus familias se mantengan alejados de la línea de pobreza, llegando incluso a ser generadores significativos de empleo rural en las regiones cafetaleras del estado.

Literatura citada

Anyaegbunam, Ch., P. Mefalopulos y T. Moetsabi. 2008. Diagnóstico participativo de comunicación rural: comenzando con la gente. Manual. 2da ed. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación (FAO). Iniciativa de Comunicación para el Desarrollo Sostenible (CDS). Proyecto FAO GCP/INT/048/ITA. Roma, Italia. 170 p.

Apollin, F. y Ch. Eberhart. 1999. Análisis y diagnóstico de los sistemas de producción en el medio rural: guía metodológica. Sistema de capacitación para el manejo de los recursos naturales renovables. Cooperativa de Asistencia y Recursos al Exterior (CARE). Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas (CESA). Quito, Ecuador. 239 p.

Krishnamurthy, L. y M. Ávila. 1999. Agroforestería Básica. p. 237-263. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental. Red de Formación Ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). México, D. F.

Boege, E. 2002. Protegiendo lo nuestro: manual para la gestión ambiental comunitaria, uso y conservación de la biodiversidad de los campesinos indígenas de América Latina. Serie Manuales de Educación y Capacitación Ambiental Núm. 3. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Fondo para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas de América Latina y El Caribe. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D. F. 173 p.

Briones, G. 1995. Métodos y técnicas de investigación para las ciencias sociales. 2da. reimp. Trillas. México. 364 p.

Buckles, D. y R. Tripp. 1993. Gorras y sombreros: caminos hacia la colaboración entre técnicos y campesinos. p. 9-16. *In*: Buckles, D. (ed.). Memoria del Taller sobre los Métodos Participativos de Investigación y Extensión Aplicados a las Tecnologías Basadas en Abonos Verdes. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Catemaco, Ver., México.

Budowski, G. 1993. Agroforestería: una disciplina basada en el conocimiento tradicional. Revista Forestal Centroamericana 2(3):14-18.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina). 1982. Economía campesina y agricultura empresarial. Tipología de productores del agro mexicano. Ed. Siglo Veintiuno. México D. F. 144 p.

Cerdán, C. C. R. 2007. Conocimiento local sobre servicios ecosistémicos de cafeticultores del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica. Tesis de Maestría en Agricultura Ecológica. Centro Agronómico Tropical para la Investigación y Enseñanza (CATIE). Escuela de Posgrado. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación. Turrialba, Costa Rica. 69 p.

Contreras, A. y G. Hernández-Martínez. 2008. ¡Qué bien huele, mejor sabrá!: la organización de productores del proyecto Biocafé. 1ra. ed. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Ver., México. 91 p.

Contreras, H. A. 2010. Los cafetales de Veracruz y su contribución a la sustentabilidad. Revista Estudios Agrarios 45:143-161.

Contreras, H. A. 2011. ¿Qué es red café sustentable? Proyecto: consolidación de una red agroecológica intersectorial de innovación para lograr una cafeticultura sustentable en el centro del estado de Veracruz. Desplegable informativa. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Ver.

CRUO-UACH (Centro Regional Universitario de Oriente de la Universidad Autónoma Chapingo). 2011. Plan de innovación de la cafeticultura en el estado de Veracruz. Proyecto estratégico: fomento productivo 2010. Estrategia de innovación hacia la competitividad en la cafeticultura mexicana. Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café A. C. (AMECAFÉ). INCA Rural. Sistema Producto Café (SPC-SAGARPA). Huatusco, Ver. México. 144 p.

Dalenius, T. y J. L. Hodges. 1959. Minimum variance stratification. Journal of the American Statistical Association 54:88-101.

de Souza, S. J., J. Cheaz, J. Santamaría, M. A. Mato B., S. Valle L., A. M. Gomes de C., L. Salazar, *et al*. 2005. La innovación de la innovación institucional: de lo universal, mecánico y neutral a lo contextual, interactivo y ético desde la perspectiva latinoamericana. Red Nuevo Paradigma. COSUDE–IFPRI. Quito, Ecuador. 203 p.

Doorman, F. 1990. A social science contribution to applied agricultural research for the small farm sector: The diagnostic case study as a tool for problem identification. Agricultural Systems 32(3):273-290.

Doorman, F., F. Miranda, C. De Nie, J. Ooijens, Y. Ovaren, C. Ramírez, C. Sáenz, y E. Sáncho. 1991. La metodología del diagnóstico en el enfoque de investigación adaptativa: guía para la ejecución de un diagnóstico con énfasis en el análisis de finca del pequeño productor agropecuario. Universidad Nacional Heredia. Utrecht State University. Utrecht, The Netherlands. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 301 p.

Dufumier, M. 1988. La investigación para el desarrollo: el papel de los diagnósticos en los proyectos de desarrollo. Ruralter: Revista de desarrollo rural alternativo 1(3):50-58.

Dufumier, M. 1993. La importancia de la tipología de las unidades de producción agrícola en el análisis diagnóstico de realidades agrarias. p. 211-218. *In:* Navarro, G. H., C. Jean-Philippe y P. Milleville (ed.). Sistemas de Producción y Desarrollo Agrícola. ORSTOM-CONACYT. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx., México.

Eberhart, N. 1998. Transformaciones agrarias en el frente de colonización de la amazonía ecuatoriana. Centro Nacional de Estudios Agronómicos para las Regiones Cálidas (CNEARC). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (INIAP-GTZ). Ediciones Abya-Yala. Quito, Ecuador. 186 p.

Ekboir, J., J. A. Espinoza G., J. J. Arellano E., G. Moctezuma L. y A. Tapia N. 2003. Análisis del sistema mexicano de investigación agropecuaria. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México, D. F. 33 p.

Escamilla, P. E. 2007. Influencia de los factores ambientales, genéticos, agronómicos y sociales en la calidad del café orgánico en México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Ver., México. 254 p.

Escamilla, P. E. y S. Díaz C. 2002. Sistemas de cultivo de café en México. Universidad Autónoma Chapingo. CRUO-Huatusco/CENIDERCAFÉ. Fundación Produce Veracruz, A. C. Huatusco, Ver., México. 57 p.

Escobar, G. y J. Berdegué. 1990. Conceptos y metodologías para la tipificación de sistemas de fincas: la experiencia del RIMISP. p. 13-44. *In*: Escobar, G. y J. Berdegué (eds.). Tipificación de Sistemas de Producción Agrícola. Red Internacional de Metodología de Investigación en Sistemas de Producción (RIMISP). Santiago de Chile, Chile.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. Análisis prospectivo de política de ciencia, tecnología e innovación agrícola. Proyecto "Evaluación alianza para el campo 2005". SAGARPA. México, D. F. 37 p.

Ferran, F. I. 1993. Metodología de intervención rápida: ideas básicas para la implementación de reconocimientos rápidos a nivel de campo. Publicaciones del proyecto RENARM/Manejo de cuencas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 20 p.

Fischersworring, H. B. y R. R. Robkamp. 2001. Guía para la caficultura ecológica. Ministerio de Cooperación Económica y Desarrollo de la República Federal de Alemania. 3ra ed. Popayán, Colombia. 152 p.

Flores, G., S. Padilla, G. Stegeman, E. Arias y J. Peltonen. 1994. Manual del extensionista forestal andino. p. 138-148. *In*: Padilla, S. (coord). Desarrollo Forestal Participativo Andino. Proyecto FAO/Holanda. Quito, Ecuador.

Gabriel, M. J. 2003. Tipología socioeconómica de las actividades agrícolas: una herramienta de síntesis para el ordenamiento ecológico. Instituto Nacional de Ecología (INE). Secretaría de medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D. F. 51 p.

Galán, A. M. 2009. Metodología de la investigación: la entrevista en investigación. http://manuelgalan.blogspot.mx/2009/05/la-entrevista-en-investigacion.html [consultado el 25 de abril de 2012].

GEA A. C. (Grupo de Estudios Ambientales A. C.). 1993. El proceso de evaluación rural participativa: una propuesta metodológica. Cuaderno No. 1. Programa de Manejo Participativo de Recursos Naturales. GEA/PNUD. México. 103 p.

Giovannucci, D. y R. Juárez C. 2006. Análisis prospectivo de política cafetalera. Proyecto "Evaluación alianza para el campo 2005". FAO-México. México, D. F. 86 p.

González, M. J., A. Pérez, F. León, J. Olivarez, H. Calderón, D. Astori, S. Figueroa y T. R. Lec. 1980. Objetivos y características generales del diagnóstico. p. 173-183. *In*: La Planificación del Desarrollo Agropecuario. Vol. 1. Ed. Siglo XXI. México, D. F.

Guajardo, P. R. A. 1999. Introducción al análisis multivariado usando el paquete "statistica": un enfoque metodológico con aplicaciones e interpretaciones. Trabajo recepcional para obtener el posgrado de maestria con especialidad en Métodos Estadísticos. Facultad de Estadística e Informática. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver., México. 110 p.

Harwood, R. R. 1986. Desarrollo de la pequeña finca. Serie de libros y materiales educativos No. 78. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 170 p.

ICO (Internacional Coffee Organization). 2006. Total production of exporting countries. http://www.ico.org/trade_statistics.asp [consultado el 15 de diciembre de 2006].

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2010. Nota técnica: estratificación multivariada. Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE). México, D. F. 8 p. http://gaia.inegi.org.mx/scince2/documentos/scince/fichaTecnica.pdf [consultado el 16 de mayo de 2013].

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2009. Estrategia de rehabilitación de fincas de café en huertos de Zacualpan de Amilpas, Morelos. Informe Técnico del proyecto: Uso eficiente del agua y reconversión productiva para el desarrollo rural participativo en la barranca de Amatzinac, Morelos. INIFAP. CIRGOC. Sitio Experimental Teocelo. Xalapa, Ver., México. 36 p.

Jeffrey, P. 2003. Depressed coffee prices yield suffering in poor countries. National Catholic Reporter 39:12-14.

Johnson, R. A. y D. W. Wichern. 1998. Applied multivariate statistical analysis. Fourth Edition. Prentice Hall Books. Upper Saddle River, NJ, EE. UU. 288 p.

Joshi, L., L. Arévalo, N. Luque, J. Alegre and F. Sinclair. 2004. Local ecological knowledge in natural resource management. World Agroforestry Centre (ICRAF). Draft manuscript for "Bridging Scales and Epistemologies" conference. Alexandria, Egypt. http://www.asb.cgiar.org/PDFwebdocs/Joshi_et_al_2004_LEK.pdf [consultado el 10 de febrero de 2013].

Krishnamurthy, L., K. Krishnamurthy, I. Rajagopal y G. A. Arroyo. 2003. Introducción a la agroforestería para el desarrollo rural. Alternativas productivas. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable. México, D. F. 105 p.

López, M. R. 1995. Regionalización para producir frijol en cultivo intercalado con caña de azúcar en el estado de Veracruz. Tesis de Maestría. Programa de Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Postgraduados. Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Ver., México. 95 p.

López, M. R., A. Contreras L., J. Ruiz R., G. Castillo P., A. Contreras J. y J. L. Martínez R. 1999. Diagnóstico de la cafeticultura en la zona centro del estado de Veracruz: un enfoque regional. p. 8-13. *In*: Décima Segunda Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria. Veracruz, Ver. México.

López, M. R., J. G. Salazar G., G. Díaz P., R. A. Guajardo P. y L. E. García M. 2012. Árboles nativos en el sombreado de cafetales: caso de la zona centro del estado de Veracruz. [CD-ROM]. *In*: Memoria de la XXV Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Veracruz y IV del Trópico Mexicano. Huatusco, Ver. México.

López, M. R., J. G. Salazar G., J. L. Martínez R. y G. Díaz P. 2007. Estudio sobre sistemas agroforestales y agrosilvopastoriles para un manejo sustentable de la cafeticultura en la zona centro del estado de Veracruz. Informe Final del Proyecto CONAFOR-CONACYT-2002-01-6339. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Sitio Experimental Teocelo. Xalapa, Ver., México. 29 p.

López, M. R., J. L. Martínez R. y G. Díaz P. 2009. Manejo de café bajo sistemas agroforestales tradicionales: la comunidad como estudio de caso. [CD-ROM]. *In*: Memorias del Séptimo Congreso de la Asociación Mexicana de Estudios Rurales. El Campo Mexicano sin Fronteras: Alternativas y Respuestas Compartidas. San Cristóbal de las Casas, Chis., México.

López, M. R., J. L. Martínez R., G. Díaz P. y J. G. Salazar G. 2004. Indicadores agroecológicos y socioeconómicos de la cafeticultura en la zona centro del estado de Veracruz. Informe técnico. Estudio sobre sistemas agroforestales y agrosilvopastoriles para un manejo sustentable de la cafeticultura en la zona centro del estado de Veracruz. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Xalapa. Xalapa, Ver., México. 69 p.

Marvin, H. 2001. Antropología cultural. Alianza Editorial, S. A. Madrid, España. 211 p.

MISEREOR. 2006. Taller Economía campesina: ¿Qué criterios tenemos para analizar la capacidad económica y social de nuestros sistemas de producción sostenibles?. Santa Cruz, Bolivia. http://www.misereor.org/fileadmin/userupload/misereororg/spanisch/economiacampesina2.pdf [consultado el 6 de octubre de 2008].

Moguel, P. y V. M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of México. Conservation Biology 13(1):11-21.

Moguel, P. y Toledo, V. M. 2004. Conservar produciendo: biodiversidad, café orgánico y jardines productivos. Biodiversitas 55:2-7.

Mora-Delgado, J., M. Ibrahim y M. B. Bermúdez. 2011. Tipificación de hogares campesinos con base en indicadores de medios de vida en la zona cafetalera de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. p. 1-28. *In*: Villanueva, C., C. J. Sepúlveda L. y M. Ibrahim (eds.). Manejo Agroecológico como Ruta para Lograr la Sostenibilidad de Fincas con Café y Ganadería. Serie Técnica. Informe Técnico No. 378. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

Núñez, R. I. y M. G. Díaz T. 2006. Innovación en la comunidad y economía campesina. http://www.oei.es/memoriasctsi/mesa9/m09p09.pdf [consultado el 4 de octubre de 2008].

Osorio, R. M. L. y A. Contreras H. 2009. El diagnóstico rural participativo y el manejo de los recursos naturales. Revista Estudios Agrarios 42:109-136.

Pagiola, S. e I. M. Ruthenberg. 2006. La venta de biodiversidad en una taza de café: el café de sombra y la conservación forestal en Mesoamérica. p. 207-240. *In*: Pagiola, S., J. Bishop y N. Landell-Mills (comps.). La Venta de Servicios Ambientales Forestales. 2da ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Pillot, D. 1993. "Se con quién estoy en desacuerdo pero sigo buscando a quien esté de acuerdo conmigo": reflexiones sobre la diversidad de los estudios sistémicos del medio rural. p. 21-35. *In*: Navarro, G. H., C. Jean-Philippe y P. Milleville (eds.). Sistemas de Producción y Desarrollo Agrícola. ORSTOM-CONACYT. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx., México.

Pohlan, J. H. A. 2006. El cafetal del futuro p. 3-14. *In*: Pohlan, J., L. Soto y J. Barrera (eds.). El Cafetal del Futuro: Realidades y Visiones. ECOSUR. Shaker Verlag. Aache, Alemania.

Ramakrishna, B. 1997. Estrategia de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Ministerio Federal para la Cooperación y el Desarrollo Económico / Cooperación Técnica Alemana (BMZ/GTZ). San José, Costa Rica. 338 p.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2011. Plan de innovación en la cafeticultura de México. Instituto Nacional para el Desarrollo de Capacidades del Sector Rural A. C. (INCA-Rural). COFUPRO. UACH-CRUO. Sistema Producto Café. AMECAFÉ. México, D. F. 165 p.

Santoyo, C. V. H., S. Díaz C., B. Rodríguez P. y J. R. Pérez P. 1996. Sistema agroindustrial café en México: diagnóstico, problemática y alternativas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 320 p.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=181&Itemid=426. [consultado el 12 de mayo de 2013].

Sinclair, F. L. and D. H. Walker. 1999. A utilitarian approach to the incorporation of local knowledge in agroforestry research and extension. p. 245- 276. *In:* Buck, L. E., J. P. Lassoie and C. M. Fernandes E. (eds.). Agroforestry in Sustainable Agricultural Systems. Lewis press. Boca Raton, FL, USA.

Somarriba, E. 2009. Planificación agroforestal de fincas. 1ra ed. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Serie materiales de enseñanza No. 49. Turrialba, Costa Rica. 100 p.

Toledo, V. M. 1992. La racionalidad ecológica de la producción campesina. p. 197-218. *In*: Sevilla-Guzmán, E. y M. Gonzales de Molina (eds.). Ecología, Campesina e Historia. La Piqueta. Madríd, España.

Toledo, V. M., B. Ortiz-Espejel, L. Cortés, P. Moguel and M. D. J. Ordoñez. 2003. The multiple use of tropical forests by indigenous peoples in México: A case of adaptive management. Conservation Ecology 7(3):9. http://www.consecol.org/vol7/iss3/art9/

Tripp, R. y J. Wolley. 1989. La etapa de planificación de la investigación en campos de agricultores: identificación de factores para la experimentación. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). México, D. F. 85 p.

Vandermeer, J. H. 2003. The coffee agroecosystem in the neotropics: Combining ecological and economic goals. p. 159-194. *In*: Tropical Agroecosystems. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.

Vandermeer, J. H. and I. Perfecto. 1998. Biodiversity and pest control in agroforestry systems. Agroforestry Forum 9(2):2-6.

Vejarano, G. M. 1991. Los grupos de amistad y trabajo: una estrategia metodológica para la transferencia de tecnología a pequeños cafeticultores en PROMECAFE. Programa II. Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Tegucigalpa, Honduras. 28 p.

IV. Análisis de la cadena de suministro del café en el Centro de Veracruz: situación actual, retos y oportunidades

Gerardo Hernández Martínez[1], Stephany Escamilla Femat[2], Tonatiuh Velázquez Premio[2], Jorge Luis Martínez Marín[2]

[1] Centro Agroecológico del Café, A.C. gerardo.cafe@gmail.com
[2] Centro Agroecológico del Café A.C.

4.1. Introducción

El cultivo de café y los procesos de transformación asociados, hasta obtener los productos que se proveen al consumidor final, hacen de la Cadena de Suministro del Café (CSC) una de las más complejas en el sector agrícola de las zonas tropicales (García y Olaya, 2006). Otro factor característico del producto café es la importante influencia del comportamiento del mercado internacional en las dinámicas productivo-comerciales (Akaki y Echanove, 2005; Espinal *et al*., 2005). Por lo tanto, la complejidad de la cadena misma, aunado a la volátil dinámica económica, son factores paradigmáticos comúnmente usados en este tipo de análisis. Con estos elementos se pueden evidenciar los cuellos de botella que estrangulan los flujos, tanto productivos como económicos. Sin embargo, los análisis basados en economía y productividad, no brindan explicaciones integrales que permitan realizar acciones de cambio para dinamizar el sistema. A la par del análisis productivo y económico, es pertinente incluir rasgos históricos, sociales, ambientales y de política pública, que pueden enriquecer una óptica desde diferentes aristas, para un análisis integral de la situación de la cadena de suministro (Hernández-Martínez *et al*., 2013).

En términos económicos, el impacto de la globalización ha requerido grandes esfuerzos en los agentes de producción y comercialización, en aspectos de integración y colaboración. Esto, a su vez, ha precisado desarrollar nuevos conceptos dentro de los que se incluyen el de cadena de valor y cadena de abastecimiento. Éstos se presentan como uno de los paradigmas actuales de competitividad (Porter, 2002; 2008).

En el grupo de procesos de soporte de una cadena de valor, se encuentran los referentes a la administración, gestión de tecnología, gestión del recurso humano, gestión de compras y adquisiciones. El valor se agrega en la medida en que cada proceso se hace más productivo. Es decir, el valor es la suma de los beneficios percibidos que el cliente recibe, menos los costos percibidos por él al adquirir y usar un producto o servicio (Porter, 2002).

La cadena de abastecimiento o suministro se ha explicado como un organismo multiagente, que busca satisfacer las demandas del cliente final, por medio de la coordinación efectiva de los flujos de información, productos y recursos financieros que la recorren, desde el proveedor del proveedor hasta el cliente del cliente. La cadena de abastecimiento implica la interacción regulada mediante acuerdos comerciales regidos por componentes contractuales de los diversos eslabones que la constituyen y que realizan diversas actividades especializadas, desde diferentes esquemas de propiedad (Porter, 2002; 2008).

Dada la complejidad de la CSC, es común que sus actividades no se realicen de manera eficaz, lo que compromete a los agentes a proporcionar de manera continua y unificada, los medios necesarios que permitan generar propuestas de mejoramiento, capaces de fomentar la productividad de la cadena como mecanismo principal de su competitividad. Sin embargo, la competitividad determinada por la eficiencia en los procesos internos de producción, aunque es un elemento crucial de análisis, no es suficiente para obtener una visión integral del sistema de valor y en dado caso, obtener conclusiones o emitir recomendaciones. La incorporación de elementos de análisis sobre el comportamiento de los mercados, aunados a rasgos históricos, ambientales, sociales y de política pública, brinda una visión complementaria imprescindible si se quieren desarrollar modelos de intervención que dinamicen la industria cafetalera bajo un modelo de desarrollo sustentable. Usualmente los análisis se realizan de modo disciplinar, en los cuales el ámbito social y ambiental, quedan relegados a documentos orientados hacia aspectos reflexivos y de toma de conciencia o de comprensión de los fenómenos (Porter, 2002; 2008).

En este capítulo se presenta una aproximación al análisis del sistema de valor o cadena de suministro del café en el centro del estado de Veracruz, desde la perspectiva de competitividad, del comportamiento del mercado, rasgos ambientales, socio-histórica y de política pública. Además, se presentan los

resultados derivados del Programa de Integración de Cadenas-Redes del Café (CADECAF) realizado por el Centro Agroecológico del Café A.C. (CAFECOL) dentro del proyecto *Café In Red* 2011-2013: "Consolidación de una red agroecológica intersectorial de innovación para lograr una cafeticultura sustentable en el centro del estado de Veracruz" (Clave CONACyT-FORDECyT: 139378).

4.2. Métodos

Sistemas de Información Geográfica. Se desarrolló un Sistema de Información Geográfica (SIG) con el programa ArcView 3.2 y ArcMap 10, con el cual se identificó la Zona Centro del Estado Veracruz (ZCEV) como espacio geográfico con distintas regiones productoras de café, ubicándose los municipios y su área cafetalera, productores y parcelas e índice de marginación; e identificándose grupos de trabajo, organizaciones, beneficios húmedos y secos, tostadores y cafeterías que un tiempo después pasarían a ser participantes en el proyecto.

Conocimiento e intervención de la cadena con el modelo CADECAF. Como mecanismo inicial de diálogo con el sector productivo, así como para recabar información sobre el estado de la cadena productiva y establecer un mecanismo de transferencia de conocimiento e inducción al programa de integración productiva CADECAF, se desarrolló el taller llamado: "La organización regional y comunitaria ¿Vamos por el mismo camino?". En el taller se presentaban los antecedentes de la formación del CAFECOL, se fomentaba una reflexión con imágenes y dinámicas participativas sobre la importancia del conocimiento en la toma de decisiones en materia de café. Mediante un recorrido gráfico por la historia de la cafeticultura, se mostraba el origen del cafetalero minifundista o "pequeño productor", la inminente necesidad de la organización del sector productivo, la situación de los productores en los diferentes eslabones de la CSC, las dinámicas del comercio internacional, su efecto en el precio en campo y las dinámicas productivas, aunadas a procesos recurrentes de descapitalización del sector productivo. A su vez, se fomentó en los talleres la reflexión con técnicas participativas y lluvias de ideas, orientadas hacia la conveniencia de avanzar en procesos de integración de la CSC. En la sección del taller denominada: "Caminos para la Mejora", se mostró la importancia de la conservación y manejo de los suelos, la utilización racional de agroquímicos tóxicos para la salud, el

corte de producto con óptimo grado de maduración, la diversificación productiva, la certificación del producto, la producción de servicios ambientales en el agroecosistema cafetalero, el proceso de beneficiado de alta calidad de modo estandarizado y el análisis del producto y la trazabilidad, como elementos de cohesión para un ejercicio de colectivo de producción diferenciada.

Como segundo elemento de la estrategia, se invitó a los diferentes grupos de productores a firmar un acuerdo de colaboración, donde se comprometieron a destinar parte de su cosecha para un ejercicio de integración productiva bajo buenas prácticas de manejo de cosecha y procesos post-cosecha. Por su parte, el CAFECOLl se comprometió a apoyarles con la organización del grupo, la logística de acopio, transformación, evaluación y asistencia a la comercialización, mediante una bolsa de producto virtual montada en un sistema web, y un esquema de promoción mediante la generación de competencias estatales de calidad de café.

Una vez firmados los acuerdos, se programó un segundo taller con cada grupo para el desarrollo de capacidades en buenas prácticas de cosecha y beneficiado de café para lograr un nivel mínimo de estandarización de procesos post-cosecha, que permitiera la generación de micro-lotes de café de alta calidad. Además, se mapearon los sitios de los talleres, los productores asistentes a los talleres y los que firmaron acuerdos de colaboración. De cada taller se desarrolló una memoria para sistematizar el conocimiento derivado del mismo. Cuando los productores generaron partidas o lotes de café bajo buenas prácticas de manejo, se realizó un muestreo, tomando alrededor de 50 a 300 g de cada saco de la partida dependiendo del número de sacos, a manera de alcanzar una muestra de la partida de aproximadamente 3 kg. La muestra se llevó al Laboratorio de Análisis de Calidad de Café del CAFECOL. La evaluación de los parámetros físicos de las muestras se realizó según la Norma Mexicana NMX-F-551 (2008). El análisis organoléptico se desarrolló bajo el protocolo de evaluación del Specialty Coffee Asociation of America (SCAA), con un mínimo de tres catadores Q con certificado vigente.

Las partidas de café que obtuvieron puntuaciones mayores a 80 puntos según la escala de la SCAA, se publicaron en el sistema de ofertas web de la certificación denominada OIKOS Calidad Integral® en http://www.cafecol.mx/index.php/cafecol-trazabilidad. Los cafés generados por

la estrategia compitieron entre sí y con cafés que participaron según la convocatoria pública emitida para cada concurso estatal. La mecánica del concurso consistió en la recepción de las muestras anotando sus datos de origen, proceso y del productor que lo generó; posteriormente se realizó una doble codificación de las muestras, para su posterior evaluación en el laboratorio del CAFECOL, por un panel de nueve catadores independientes, con certificado QGrader (http://coffeeinstitute.org/the-q-coffee-system/become-a-q-grader) vigente. Finalmente, los resultados obtenidos por el panel, se publicaron en un diario de circulación estatal y los premios y reconocimientos se otorgaron dentro del marco de un evento público denominado: "Día a la Calidad del Café Veracruzano".

Finalmente, se apoyó a los productores a generar vínculos de comercio con compradores nacionales e internacionales de café de alta calidad bajo el sello OIKOS Calidad Integral®, emitiendo certificados que refieren a la calidad del producto, su origen, características agroclimáticas, de proceso y denotando a los productores que lo generaron, todo esto con precios por encima del mercado convencional, con pago garantizado a los productores.

4.3. Resultados

Área de estudio. El estado de Veracruz es el segundo estado productor de café del país, con una producción promedio de 2005 a 2012 de 329'289,343.75 toneladas de café cereza o aproximadamente 1'317,157.38 quintales con un rendimiento promedio de 2.29 t/ha de 2008 hasta 2012, ligeramente mayor que el de Chiapas, que es el principal estado productor del país, de 2.12 t/ha (SIAP, 2013). El territorio de la Zona Centro del Estado de Veracruz (ZCEV) considerado en este trabajo, incluye 56 municipios comprendidos en las regiones de Atzalan, Misantla, Coatepec, Huatusco, Córdoba y Zongolica (Figura 4.1). Se delimitó en su parte norte por el municipio Misantla cerca de los 19°58´N y en la parte sur por el municipio de Zongolica cerca de los 18°32´N. El café en esta zona ha sido un producto agrícola de relevante importancia en términos sociales, económicos, ambientales y culturales. Asimismo, la ZCEV es la segunda región de importancia cafetalera en el país (Marchal y Palma, 1985). Esta zona cuenta con alrededor de 120,000 ha de cafetales y alrededor de 70,000 productores, donde el tamaño promedio del predio cafetalero es de 1 ha.

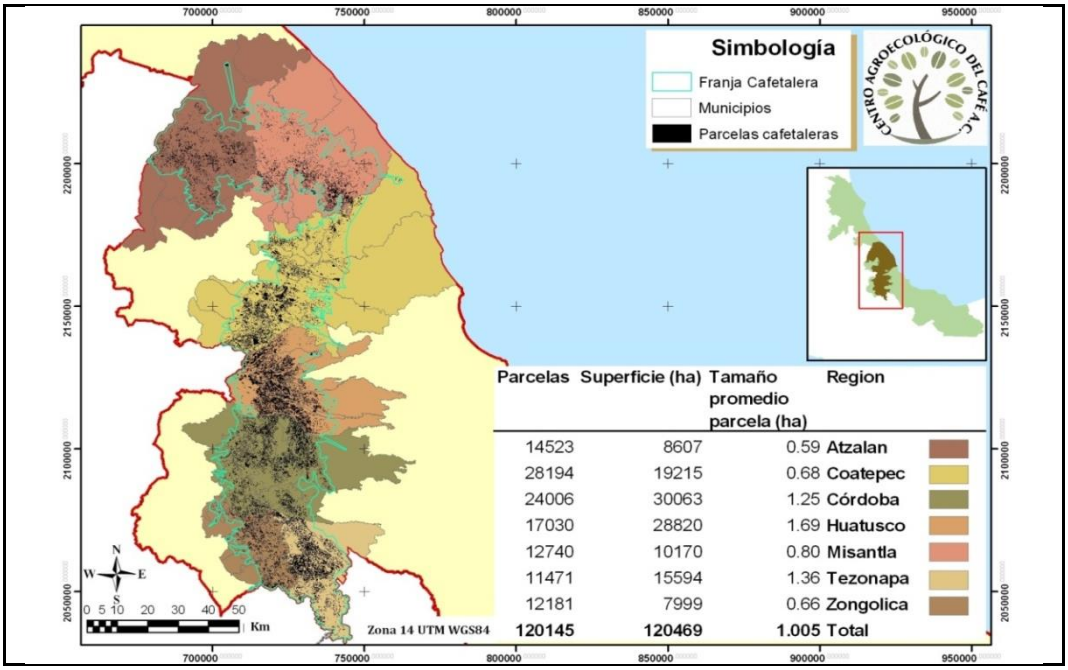


Figura 4.1. Zona Centro del Estado de Veracruz y sus subregiones cafetaleras.

Descripción de la cadena de suministro de café

En el área municipal de estudio, se cuenta con un gradiente altitudinal desde el nivel del mar hasta arriba de los 3,000 m de altitud. La temperatura media anual oscila desde los 12°C hasta los 24°C. Los suelos cafetaleros de la región se pueden catalogar como aptos: Feozem háplico, Andosol húmico y Acrisol húmico; Medios: Acrisol órtico, Luvisol crómico y Luvisol órtico; y no aptos: Fluvisol éutrico, Litosol, Regosol calcárico, Regosol éutrico, Rendzina, Vertisol crómico y Vertisol pélico. La precipitación anual oscila entre los 1,000 y 3,000 mm. Estas características geo-agroclimáticas proveen un mosaico muy variado, donde en cada una de las regiones se pueden encontrar sitios de alto, medio y bajo potencial tanto de producción, como de calidad de café (López *et al*., 2004).

La cadena de abastecimiento agroindustrial del café está constituida por una serie de etapas que conforman su proceso de transformación desde el cultivo hasta el café procesado: cultivo, cosecha de los frutos o cerezas, despulpado, fermentación o desmucilaginado mecánico, lavado del grano, pre-secado u

oreada, secado y almacenaje. Hasta esta etapa al producto se le conoce como café pergamino y al proceso de transformación se le conoce como beneficiado húmedo. En una segunda etapa del proceso de transformación, el café pergamino entra al proceso de beneficio seco, donde el café es morteado o trillado, extrayéndosele, por medio de máquinas especiales, el endocarpio que lo cubre (cubierta fibrosa corácea o "pergamino"), etapa en la cual toma el nombre de café "verde" u "oro" no clasificado, el cual posteriormente se clasifica por tamaño, color y forma. A los diferentes tipos de clasificación del café verde según el tamaño y número de imperfecciones en la forma de los granos, se le conoce como tipo de preparación, donde las más comunes son la "americana" que tolera mayor número de granos de tamaño pequeño e imperfecciones, en comparación con la de tipo "europeo" (NMX-F-551). El café verde es la forma en la que se realiza la comercialización hacia los tostadores, tanto nacionales como extranjeros. Adicionalmente del proceso de tostado, el café puede someterse a procesos de descafeinado y solubilización (Espinal *et al*., 2005; García y Olaya, 2006).

En la Figura 4.2, se indica en algunas etapas de la cadena, la venta o comercialización, refiriendo a que lo segundo es más que la venta en sí, es decir, comercializar es producir, vender la cantidad y la calidad de un producto obteniendo la mayor ganancia posible; implica fijar el precio del producto en el momento más rentable y entregarlo en el lugar más rentable. Las etapas de venta marcadas en rojo y naranja implican el momento más vulnerable, riesgoso, presionado, sin margen de negociación y de menos valor de producto. En lo que corresponde a los agentes que realizan las diferentes etapas, se ha encontrado que cualquier tipo de agente puede realizar una, varias o todas las etapas. A continuación se ilustraron las más generales: los productores (PR) principalmente son cereceros, aunque hay algunos que realizan el proceso de beneficiado húmedo, sobre todo en las zonas serranas menos comunicadas; la mayoría comercializa su producto con un intermediario local (IL) que puede vender con un industrial intermediario (II), o con un industrial exportador (IE); posteriormente, la tostación la realizan los tostadores industriales (IT) o los regionales de menor capacidad de proceso (TR). La etapa final de preparación de la bebida, la realiza principalmente el gremio de las cafeterías (C), donde algunos también son TR y otra parte de la preparación se realiza mediante el consumo doméstico (CD).

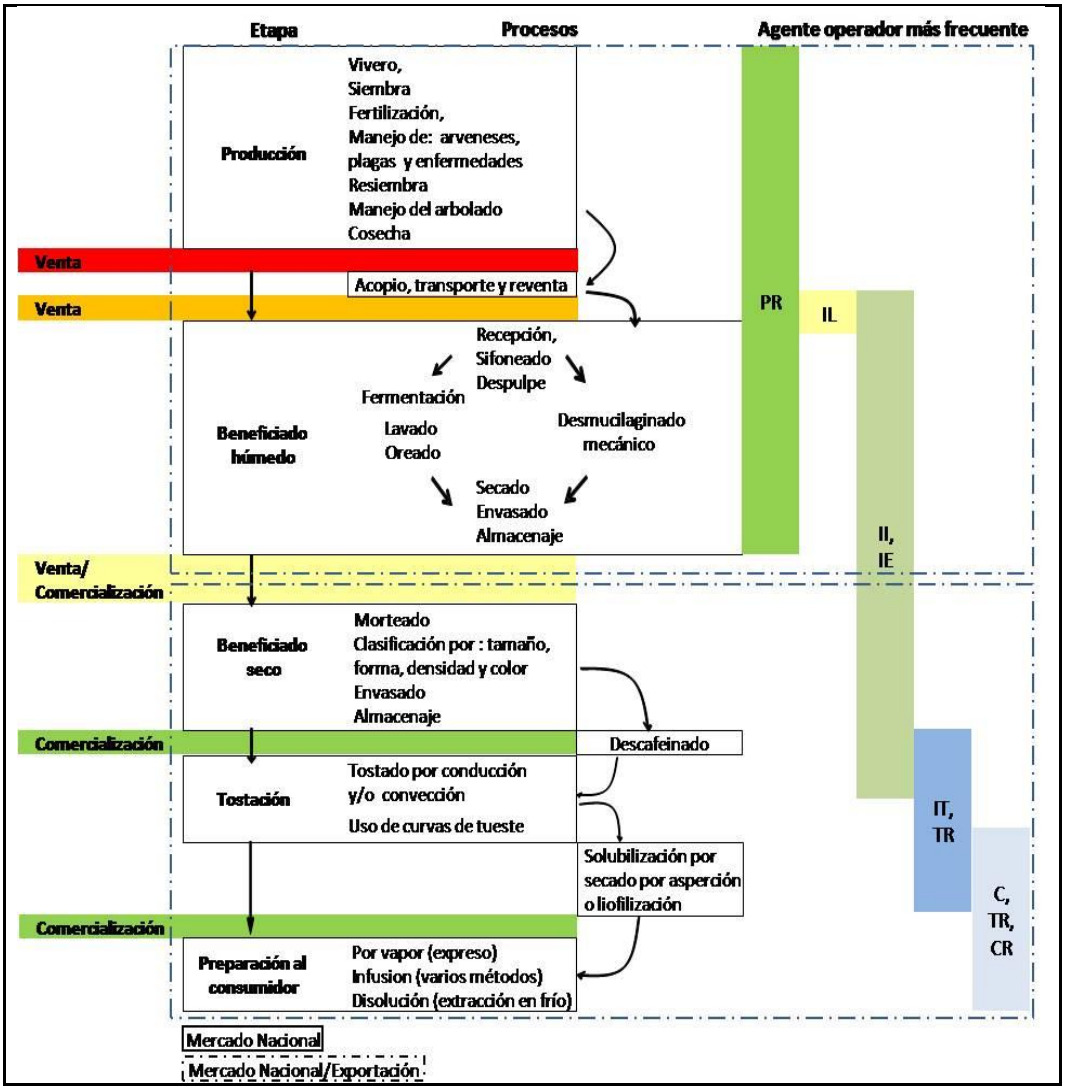


Figura 4.2. Etapas de transformación en la cadena de suministro del café.

A continuación, se detallan las etapas de transformación del producto y sus agentes, con base en 103 talleres de planeación y organización realizados en seis regiones cafetaleras, donde asistieron 1,477 productores (minifundistas principalmente) de 24 municipios, 41 localidades, incluyendo 46 organizaciones de productores:

Cultivo. De manera general se observó que el productor no tiene a su alcance regulaciones ni recomendaciones sobre el uso de las diferentes variedades de café. La gran mayoría de los productores mezcla variedades en sus parcelas, incluso dentro de un mismo surco; la práctica de los productores sobre establecer viveros propios está cayendo en desuso y además, se desincentiva con los programas gubernamentales que favorecen la producción en viveros de más de 50,000 plantas, lo que es una cifra lejana al productor minifundista de 1 a 2 ha. Además, dichos viveros apoyados con fondos gubernamentales, no regulan las variedades a producir por región, ni algún tipo de regulación sobre la trazabilidad de la semilla o sanidad del sustrato de cultivo, lo que puede fomentar la dispersión de nematodos de la raíz entre los diferentes territorios, u otros problemas fitosanitarios. Para contrarrestar los ataques por nematodos, algunos productores, sobretodo en la región de Huatusco, realizan injertos sobre patrones de café robusta, que, por su profusa raíz, resiste la presencia de los nematodos. Este tipo de estrategia de renovación de cafetales que está orientada a incrementar la producción, a su vez fomenta una proliferación del desorden varietal que debería estar organizado por regiones agroclimáticas, capacidades agroindustriales y abastecimiento del mercado de calidades diferenciadas o riesgos de plagas y enfermedades.

Es prácticamente nula la cultura del análisis de suelos, el uso de curvas de nivel, uso de terrazas o barreras vivas para contención de la erosión, a pesar de la topografía accidentada que caracteriza la ZCEV. En algunos casos se observa que se ha diseminado la cultura del compostaje y el vermicompostaje. La fertilización química se realiza con fórmulas que quedaron en la memoria de los productores de cuando los tiempos del INMECAFÉ; también se realiza mediante recomendaciones de compañeros productores, por alcance económico del productor para adquirir el fertilizante más económico y en algunas ocasiones, por recomendación de una casa comercial de productos agroquímicos. No se observó en alguno de los casos, un programa de fertilización basado en un análisis técnico, independiente a la compra de algún producto. Un aspecto positivo es que se ha difundido la cultura del control de malezas con machete, dejando cobertura vegetal para evitar la erosión. Se registraron experiencias negativas con el uso de herbicidas tanto por intoxicaciones de personas al aplicar el producto, como de degradación de los suelos con el uso frecuente, lo que ha generado una postura de uso reservado del pesticida. No se registraron

experiencias de uso de pesticidas para controlar plagas o enfermedades del café.

En lo que se refiere a la poda de cafetos, las prácticas son más comunes y completas en la subzona centro: regiones de Coatepec y Huatusco, incluyendo podas sanitarias, recepa y deshije; sin embargo, hacia las sierras de los extremos sur y norte, las prácticas se simplifican. En la sierra de Zongolica se registra nulo manejo del tejido vegetal. No se observó ningún caso donde se tuviera un plan de manejo multianual.

La gran mayoría de los cultivos se desarrolla bajo sombra en estructuras diversificadas, tanto en el estrato arbóreo como del sotobosque, lo que puede generar cultivos con alta dinámica agroecológica en términos de regulación térmica, reciclaje de nutrientes y estabilidad biológica para regulación de plagas. Además, el agroecosistema café presenta resiliencia tanto ecológica como económica al necesitar poco manejo para su funcionamiento. Es importante indicar que el agroecosistema está caracterizado por una baja producción y rentabilidad por unidad de superficie, no obstante que presenta alto potencial para la generación de producto de alta calidad, diversificación productiva y generación de servicios ambientales.

Cosecha. Cuando en los talleres se mostró una fotografía con una cosecha de café 100% maduro y se preguntó que quién de los presentes cortaba de ese modo, la respuesta constante fueron risas culposas, y la respuesta verbal en la gran mayoría de los casos fue, nadie. El corte de café maduro es la práctica clave que reportan los ganadores de concursos nacionales e internacionales. Con el corte de los frutos en estado maduro se gana peso en la báscula, facilidad en el beneficiado, se disminuye ampliamente la merma cuando se prepara el café verde y se gana alta calidad organoléptica. ¿Por qué no se realiza una práctica que genera tanta competitividad? La respuesta es simple, porque no se recibe ningún estímulo económico para hacerlo y los cortadores no están educados para realizarlo. El café en cereza es la forma más frecuente de venta para el productor, usualmente se realiza a un intermediario-acopiador local que pesa los sacos (donde los productores usualmente reportan robo en báscula) y los revuelve con los del resto de los productores, sin distingo de algún parámetro que estimule la venta de calidad; por el contrario, cualquier esfuerzo es borrado al revolver el café con otros de inferior calidad en el corte, o si la calidad del corte

es muy mala o se nota un café agrio, sí puede ser rechazado por el comprador o comprado más barato. La venta también puede realizarse en un beneficio-intermediario o en el del agente comercializador-exportador, donde sucede lo mismo al revolver el café en sifones genéricos, a excepción de los que están sujetos a algún tipo de certificación. El caso más extremo es cuando se reportan robos de café en las fincas, donde lo menos importante para los ladrones es la calidad del corte y dichos cafés son comprados y revueltos con los vendidos por el productor de manera legítima. La percepción generalizada del productor es que recibe un bajo precio de compra, no recibe algún estímulo por buenas prácticas y es robado en la báscula. Ciertamente, no se registró algún caso donde parámetros de compra de café cereza como la región o localidad, altura y temperatura media anual de la finca, variedad(es), porcentaje de maduros, rendimiento a pergamino y tiempo de haber sido cortado se utilizarán como estímulo de compra al productor.

Beneficio húmedo. Se define como el proceso por medio del cual se retira la pulpa del fruto mediante máquinas (despulpadoras) que oprimen el fruto hasta reventarlo, separando las semillas del resto del fruto. Posteriormente los granos que se encuentran envueltos en una cascarilla fibrosa y por una capa gelatinosa llamada mucílago, se trasladan a tanques de ladrillos y concreto para su reposo de 12 a 24 h, tiempo en el cual, por medio de un proceso de fermentación, la capa de mucílago se degrada, desprendiéndose de los granos de café. Después del proceso de fermentación, los granos recubiertos por la capa de pergamino son lavados para desprender cualquier rastro de mucílago y posteriormente son escurridos en patios de concreto, zarandas, harneros o en máquinas “oreadoras”, que por corrientes de aire y gravedad brindan un pre-secado al café. El proceso para retirar el mucílago del café también se realiza por un proceso mecánico de alta fricción en máquinas denominadas desmucilaginadores. El secado de los granos se realiza exponiéndolos al sol en patios de concreto o sobre camas, utilizando zarandas, y mediante secadoras tipo Guardiola a base de gas y aire generado por una turbina. El tiempo del secado es variable en cada uno de los métodos, siendo la meta, en cualquier caso, que la humedad en el grano de café llegue dentro del parámetro de 11.5 a 12.5%. Al producto final del beneficiado húmedo se le denomina café pergamino, nombre que obtiene por la cascarilla fibrosa como pergamino, que recubre al grano al final del proceso. El almacenaje se realiza en bodegas, utilizando principalmente sacos de yute e ixtle. Los productores que realizan este proceso, a veces lo almacenan en lonas de

materiales plásticos que fueron usadas originalmente para alimento pecuario, y que han sido lavadas previamente; el almacenaje lo realizan en algún espacio de la casa habitación adaptado para tal fin.

El beneficio húmedo se realiza principalmente a gran escala por las grandes empresas industriales, tanto nacionales como trasnacionales. En menor escala lo realizan las organizaciones de productores de carácter regional o municipal, y en pequeña escala por productores en beneficios caseros. La gran mayoría de los productores venden su café en fruto sin algún valor agregado y con la presión de venderlo antes de que se "pase el momento del corte". Las principales limitaciones por parte de los productores para realizar la primera transformación del café, son la falta de capital para la cosecha, los gastos del beneficiado y la retención del café en el almacén. Otra limitación son los permisos para el uso y descarga del agua usada en el beneficio, ya que el trámite es complejo y se somete a la misma normativa y trámites, tanto si se trata de volúmenes industriales como para un beneficio casero, incluso con maquinaria manual. Los productores reportan casos de multas por realizar beneficio húmedo sin permiso, que superan las ganancias totales de toda la cosecha. Lo complejo del trámite, su costo de expedición y el temor con multas elevadas, ha provocado el desanimo por realizar esta labor por parte de los productores minifundistas que tenían la cultura de realizar la primera transformación, y con ello, la posibilidad de buscar mejores opciones de venta del producto, aumentando la vulnerabilidad del producto a los precios en el proceso de comercialización.

Si bien el elevado consumo y contaminación del agua es uno de los factores negativos en el beneficiado del café, no hay un programa que promueva tecnologías sencillas para la limpieza del agua, captación del agua de lluvia y trámites acordes a los volúmenes de transformación del grano, que lejos de frenar la competitividad del productor, estimulen procesos limpios y bajo un reconocimiento legal. Otro factor para que el productor no produzca café pergamino, es la volatilidad del precio, resultando en que su inversión y trabajo, lejos de ser un valor agregado, se sume a una pérdida mayor por caída en el precio. Otro aspecto importante es la falta de parámetros claros y regulados para la comercialización del café pergamino, donde el precio de venta lo dicta el comprador, según el mismo estime, y el productor lo asume dependiendo de sus posibilidades y necesidades económicas. Así, tanto productores como

compradores deberían tener la capacidad de medir y entender los siguientes parámetros para el comercio de café pergamino: porcentaje de bola, humedad del grano, rendimiento en verde, uniformidad de color, porcentaje de mancha, número de granos con defectos respecto al peso de la muestra analizada y granos perceptiblemente libre de aromas impropios. El proceso de comercialización del café pergamino se realiza principalmente entre productores individuales, o bien mediante sus organizaciones hacia industriales-comercializadores.

Beneficio seco. Es el proceso donde el café pergamino es morteado o trillado para liberar el grano de café de color verde, para posteriormente ser clasificado por su tamaño, forma densidad y color, además de ser limpiado de objetos extraños. La maquinaria, la labor manual o la combinación de ambas, puede ser muy variable, pero en general los métodos de este proceso se clasifican en: neumáticos, por criba, vibración-gravedad y ópticos. El resultado es la producción de café verde u oro preparado, es decir, con cierto número de imperfecciones llamadas defectos y una composición de tamaño de grano definida. Existen dos tipos comerciales de preparaciones: la Americana y la Europea. La primera tolera un tamaño de grano inferior y un mayor número de defectos que la segunda; las especificaciones pueden ser consultadas en la norma mexicana NMX-F-551. El proceso de beneficiado seco es realizado principalmente por las grandes empresas industriales, en menor escala por las empresas cooperativas de los productores y raramente por productores minifundistas.

Tostación y molienda. El proceso de tostado consiste en tomar los granos seleccionados, ya sea de las mejores calidades o de las peores, para llevarlos a un proceso de temperaturas altas entre los 130 y 215°C, ya sea por equipos tostadores de transmisión de calor por conducción, como los de cilindro, por convección, como en los de aire, o algunos más sofisticados donde se combinan ambos métodos. Del proceso de tueste se obtienen los aromas, sabores y consistencia del producto final, que dependen básicamente del tiempo, temperatura y del método de transferencia de calor del tostador, acorde al tamaño, forma y densidad del grano. Los productos que van obteniéndose a través de todo el proceso ahora descrito se ilustran en la Figura 4.3.

Figura 4.3. Etapas de transformación del café (de izquierda a derecha): café en frutos o cereza, café pergamino producto del beneficiado húmedo, café verde u oro producto del beneficio seco y café tostado.

El mejor método para realizar una tostación correcta es el desarrollo, uso y monitoreo de las curvas de tostado según el tiempo y la temperatura del proceso. Una tostación correcta destacará los mejores atributos del grano y un tueste demasiado claro u oscuro los opacará. A menudo los tuestes oscuros son utilizados para ocultar daños organolépticos en el café, al carbonizar el grano. Normalmente las peores calidades de café son tostadas con azúcar para distribuirlas en el mercado a precios bajos. En la región se realiza la tostación en todas las escalas, desde ollas y comales por productores en zonas rurales que lo venden en sus comunidades, hasta las grandes industrias que compiten en los supermercados. Sin embargo, la cultura de la tostación de nivel profesional y tecnológico alto se realiza poco, prevaleciendo el conocimiento empírico que se

transmite de generación en generación. En cuanto al molido, se realiza desde modo manual en molinos para maíz, hasta molinos industriales. El tamaño de la partícula es importante para el método de extracción que se utilizará, siendo más fino para el café expreso y más grueso para prensa francesa y el "café de olla". La mayor parte del café se comercializa con un molido de tamaño mediano de partícula.

Solubilización. Es el proceso mediante el cual a una infusión de café se le extrae el agua, quedando así los sólidos solubles y algunos insolubles, que forman las partículas de lo que se conoce como café soluble. El proceso se realiza por dos métodos: secado por aspersión y liofilización. Este último es el mejor método para conservar las características organolépticas del café, aunque es el más caro. En una revisión de dos supermercados, se encontró que, de todas las marcas de café soluble, sólo dos se realizaron por liofilización y el proceso se realizó en el extranjero. En la región se cuenta con plantas de solubilización mediante secado por aspersión, que ofrecen sus servicios de maquila a costos que resultan accesibles.

Empaque y distribución. Esta etapa se realiza de acuerdo a la etapa del sistema de valor y al producto derivado del mismo. El café cereza se transporta a los beneficios húmedos en costales plásticos o lonas usualmente utilizadas en alimentos pecuarios o granos diversos. El café pergamino se almacena y distribuye tanto en dichas lonas previamente lavadas, como en costales de ixtle o yute. El café verde se almacena y distribuye tanto a nivel nacional, como para su exportación, en costales de yute tanto de reuso como nuevos. Adicionalmente, en los cafés de especialidad de alta calidad, se pueden utilizar bolsas plásticas tipo Grain Pro dentro del costal de yute. Algunos cafés de muy alta calidad como los subastados en "Taza de Excelencia" se empacan al vacío. Para el empaque del café tostado existe una gran variedad de bolsas plásticas, metalizadas, de papel craft o laminado, de diversos tamaños y grosores, con o sin válvula para desgasificar (que es lo más recomendable para mantener la calidad del café). También, el café tostado y molido se enlata al vacío, pero este servicio no se encuentra disponible en la región. El café soluble típicamente se envasa en frascos de vidrio con un sello de papel metalizado adherido a la boca del frasco.

Certificación. A finales de la década de los noventas, cuando se presentó una de las crisis de precios más agudas de la historia de la cafeticultura, se iniciaron procesos para certificar el café como estrategia de diferenciación del producto, para acceder a nichos de mercado fuera de los bajos precios del café convencional, dominado por las cotizaciones del mercado internacional. En la región, tanto las empresas asociativas como las cooperativas, han emprendido procesos de certificación de tipo orgánico, sustentable y comercio justo, bajo diversos sellos. Las menciones en los empaques que distinguen un café de calidad alta o denominado gourmet, se colocan sin alguna regulación. En noviembre de 2000 se obtuvo la declaratoria de protección general de la Denominación de Origen del Café Veracruz ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, así mismo se puso en marcha el Consejo Regulador del Café Veracruz (CRCV), con financiamiento estatal. A la fecha el CRCV aún existe como figura jurídica y operativa; sin embargo, la norma para dicha denominación se encuentra obsoleta y se ha perdido la capacidad para certificar producto. Desde su creación, el CRCV ha tenido diversas limitantes, por lo que no logró consolidarse como un ente regulador de la calidad de producto con distinción de origen, debido a problemas técnicos, administrativos y políticos, a pesar de tener alto potencial de desarrollo. Además del CRCV, no existe otro organismo regulador del producto en aspectos de calidad y comercio, así como técnicos y económicos. Por lo anterior, las prácticas de intercambio comercial se encuentran sujetas a libre oferta y demanda, y al tamaño del "músculo" del capital de las diferentes empresas de los diferentes agentes del sistema de valor.

Descripción del modelo económico en la cadena de suministro

Como un ejercicio de monitoreo sobre el comportamiento económico en la cadena de suministro, se presentan algunos resultados derivados de los trabajos de colaboración del Centro Agroecológico del Café A. C. y de la Comisión de Seguimiento de Precios del Café, conformada por organizaciones de productores y comercializadores a través de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca (SEDARPA) del estado de Veracruz. Se logró el monitoreo de precios en las regiones de Atzalan, Misantla, Coatepec, Huatusco, Córdoba y Zongolica, tanto los reportados por los productores en sus comunidades, como los de los comercializadores a puerta de beneficio. Los precios colectados de las diversas fuentes se reportaron diariamente en la página www.cafecol.mx del Centro Agroecológico del Café A.C.

El periodo monitoreado comprendió desde el 4 de enero al 31 de marzo de 2011. Durante este periodo, el precio de bolsa osciló entre $250.63 USD, que fue el valor más alto, presentándose en el mes de enero y $191.63 USD, como valor más bajo, en el mes de marzo. El precio de compra más alto pagado en comunidad fue de $11.00/kg de cereza en la región de Huatusco, y el más bajo fue de $5.50 en la región de Coatepec en el mes de marzo. El precio más alto reportado por los comercializadores fue de $10.30 en el mes de enero en la región de Huatusco y Coatepec, siendo el más bajo de $6.50 en el mes de marzo en las regiones de Misantla y Atzalan. Los precios de la bolsa para dicho periodo variaron en un 23.54%, mientras que los reportados en campo o comunidad variaron en un 50%, y los reportados por lo comercializadores en un 36.9%.

Al analizar el promedio de los precios reportados en campo para dicho periodo, se encontró que el valor más alto se dio en la región de Huatusco con $9.06, seguido de Coatepec con $8.76, Córdoba con $8.43, Zongolica con $7.94 y Atzalan con $7.45. Para la región de Misantla no se tuvieron suficientes datos para realizar el cálculo. El valor promedio reportado por los comercializadores fue de $8.67.

En cuanto a los diferenciales, se calcularon dos tipos: 1. El diferencial pagado por los comercializadores a puerta de beneficio, y 2. El pagado en campo por los acopiadores. En cuanto al diferencial pagado en campo, el más alto se pagó en la región de Córdoba, y fue de $102 USD, lo que significó un 53% de transferencia de precio de bolsa; por su parte, el más bajo se pagó en la región de Huatusco, y fue de $30.25 USD, lo que significó un 86% de transferencia de precio de bolsa. El diferencial promedio para toda la cosecha pagado en campo fue de $64.61 USD, lo que significó un 70.7% de transferencia de precio de bolsa. Para el caso de los comercializadores, el diferencial promedio fue de $54.11 USD y el porcentaje de transferencia promedio se ubicó en alrededor del 72%. El diferencial del precio entre los comercializadores y el reportado en campo fue de $10.5 USD, lo que significó el 4.7% del valor total promedio o $136.22/Qq $0.54/kg de cereza a un rendimiento de 250kg/Qq.

Modelo de integración productiva CADECAF

Bajo este esquema de integración productiva, desde marzo de 2011 hasta marzo de 2013, se realizaron 103 talleres, tanto de organización como de buenas

prácticas de cosecha y procesos postcosecha, en seis de las siete regiones, en 24 municipios, en 41 localidades, incluyendo 46 organizaciones de productores. A los talleres asistieron 1,477 personas, de las cuales, 433 se comprometieron a colaborar en el proyecto, logrando generar 75 partidas publicadas y ofertadas en el sistema de web de Oikos Calidad Integral®, con un volumen de 1,633.00 Qq de los cuales, 302 Qq fueron apoyados en su comercialización con un sobreprecio que varió de 37.3 a 246.2%, respecto del precio convencional, con un valor de producto de $1'068,462.67, pagado directo a los productores.

Para difundir los resultados obtenidos y mostrar al consumidor los resultados de los productores en la generación de café de alta calidad, se desarrollaron tres Premios Estatales a la Calidad del Café, tal como se muestra en la Figura 4.4.

En la primera versión participaron 50 muestras, en la segunda 110 y en la tercera 160, con un total de 320 productores; en cada competencia, los ganadores estatales también fueron ganadores nacionales: (2011: Primer lugar Estatal CAFECOL = Tercer lugar Premio Cosecha; 2012: Primer lugar Estatal CAFECOL = Primer Lugar Taza de Excelencia y record histórico de $50 USD/lb; 2013: Primer y Tercer Lugar Estatal CAFECOL = Primer y Segundo Lugar de Taza de Excelencia).

Las ceremonias de premiación se acompañaron de eventos denominados Día a la Calidad del Café Veracruzano, en las plazas centrales de Coatepec y Córdoba, donde las instituciones que forman *Café In Red*, mostraron diversos conocimientos sobre el café en las áreas de servicios ambientales, diversificación, calidad del café, empresas del café y cultura cafetalera. Se degustó café de seis regiones cafetaleras del centro del estado, con las características propias de cada origen (Figura 4.5).

Figura 4.4. Ganadores veracruzanos del Premio a la Calidad del Café Veracruzano; posteriormente resultaron ganadores de las emisiones 2012 y 2013 del concurso internacional Taza de Excelencia.

Figura 4.5. Evento Segundo Día a la Calidad del Café Veracruzano en la Plaza Central del Palacio Municipal de Córdoba, Ver.

4.4. Discusión y conclusiones

Citas que propician la reflexión para concluir

"En un estudio estadístico preparado por la Oficina Panamericana del Café, con sede en Nueva York, aparece el café de Coatepec, Ver., con un precio durante doce años, de 1935 a 1946 inclusive, mayor que el de cualquier otro café del mundo. Es más, durante el pasado conflicto bélico mundial en el que el Gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica tuvo necesidad de fijar precios topes a los cafés de importación, al mismo tiempo que señalar las cuotas que correspondían a cada uno de los países productores de América, el

café de Coatepec alcanzó el más alto precio, inclusive sobre las mejores calidades colombianas".

Lic. Juan Rebolledo Clement. Presidente de la Comisión Nacional del Café, 1951.

Ningún hombre debería tratar de obtener beneficio a costa de la ignorancia de otra persona.

Cicerón (106 AC-43 AC).

Aspectos generales

En el pasado, el café en la región de estudio fue una gran fuente de riqueza, donde de una cosecha a otra, según numerosos comentarios, un productor podía adquirir bienes inmuebles como casas y automóviles con gran facilidad. Sin embargo, la dinámica de precios y cotizaciones del café históricamente es muy variable. El café es uno de los commodities por excelencia, grano de consumo mundial, sujeto estrictamente a la oferta y demanda, a las fuerzas de los grandes países exportadores, a la especulación de los brókers y compradores transnacionales, además de las fuerzas de la naturaleza que pueden mermar la producción de un año a otro (Gómez, 2003; Akaki y Echánove, 2005; Espinal *et al*., 2005).

Después de que el sistema de cuotas promovido por la Organización Internacional del Café colapsara a finales de la década de los 80´s, el "mercado libre" del café ha presentado oscilaciones de precio muy agresivas, que han golpeado a los países productores y beneficiado a los países compradores y a sus grandes empresas de tostadores y distribuidores (Gómez, 2003; Akaki y Echánove, 2005).

En México, el Instituto Mexicano del Café (INMECAFÉ) fue un organismo gubernamental encargado de generar investigación, realizar transferencia de tecnología y organizar a los productores y su producción, para ofertarla al comercio mundial. El INMECAFÉ fue el encargado de dar cobertura tecnológica, financiera y comercial a los nuevos productores de origen campesino, derivados de las políticas de reparto agrario al fin de la revolución mexicana. De este modo, el Estado mexicano mediante el Instituto, subsanaba la falta de educación del sector campesino en los procesos de organización, transformación,

financiamiento y comercialización del café. El pequeño productor, denominado así por la extensión de sus parcelas (de alrededor de 2 has en promedio a nivel nacional) tenía (y tiene) el conocimiento y la habilidad para la producción agrícola, supliendo el Instituto, el vacío en el conocimiento del manejo de los otros eslabones de la CSC, dominados históricamente por la clase media y alta (Hernández-Martínez, 2008). Con las políticas neoliberales de comercio, implementadas por el gobierno mexicano en la década de los 90, se elimina del quehacer nacional al Instituto Mexicano del Café de un modo radical. Es decir, podía haberse suprimido la parte de la comercialización, dejando la parte de investigación, organización y extensionismo rural especializado. Sin embargo, el cambio en la política fue total, dejando a cientos de miles de productores prácticamente de la noche a la mañana, sin el apoyo al cual estaban acostumbrados, frente a la nueva política con las agresivas dinámicas de libre comercio y los fuertes capitales de las empresas trasnacionales (Gómez, 2003; Akaki y Echánove, 2005).

Se llevan poco más de 20 años desde la desaparición del INMECAFÉ, tiempo en el que la política cafetalera mexicana ha quedado en medio de las disputas por los recursos del Gobierno Federal entre el sector productivo, denominado social, líderes oportunistas aunados al corporativismo partidista y los empresarios industriales-comerciantes. Dentro de esta situación han quedado de lado los temas de investigación, desarrollo tecnológico e innovación para el mercado. Un ejemplo de esto, es que México de ser un país miembro fundador del PROMECAFE (http://www.promecafe.org) (que es un programa internacional que promueve la modernización, el mejoramiento y desarrollo sostenible de la caficultura en los países miembros del programa, principalmente centro y sudamericanos, mediante la cooperación técnica y científica para el cultivo sustentable del café, procesamiento, manejo post-cosecha, comercialización y protección ambiental en la industria cafetalera), ha quedado fuera como socio de este importante programa.

El panorama según los resultados tras 23 años de libre comercio se puede resumir en dos variables principales: la producción y la comercialización. Es indiscutible que las fuertes oscilaciones del precio han generado descapitalizaciones recurrentes al sector productivo. Es posible observar que cuando la inversión realizada en el campo resulta en un incremento de la producción, ésta coincide con importantes caídas del precio, lo cual es de

esperarse en un mercado regido por la oferta y demanda. Sin embargo, la política nacional cafetalera debería funcionar como un amortiguador para los altibajos o en el mejor de los casos, aprovechar dichas dinámicas con acciones estratégicas. Además de la coincidencia de producción alta = precios bajos, se debe considerar que de 1990 a 2012, el 41% del tiempo las cotizaciones han estado por debajo de los $100 USD, el 34% estuvieron en el segmento de los $100 a 150 USD y sólo el 25% del tiempo, las cotizaciones han estado por encima de los $200 USD (datos analizados de bases históricas en http://www.ico.org/coffee_prices.asp). De modo que la esperanza de buenos precios, se resume a una ventana temporal de un cuarto del tiempo, aunado a escenarios de baja producción. Es evidente que la producción cafetalera mexicana se comporta como "una tabla flotando en el mar", a merced del vaivén de las cotizaciones internacionales, sin algún contrapeso estratégico. Después de la crisis de precios que inició en 1999, se observa hasta la fecha, un franco y preocupante desplome de la producción. Asimismo, aunado a la desalentadora dinámica productivo-comercial, se suma la situación del inusual brote de roya en 2012, que afectó de manera importante a las plantaciones centroamericanas y de México (Cressey, 2013). En la Figura 4.6, las líneas punteadas muestran el comportamiento de las variables, mientras que las líneas continuas representan un modelo ajustado para mostrar la tendencia general.

En términos de comercio, con varias referencias personales, se puede estimar que el café mexicano y el veracruzano en particular, no figura como un café de alta calidad en el comercio mundial, y por lo tanto, mejor pagado que el convencional. Una referencia de esto, es el reporte de AMECAFE para 2009, donde se ilustra cómo México vende de modo promedio su café a Estados Unidos con un precio inferior (hasta $35.37 USD menos que el mejor precio) de modo comparativo al de países como Colombia, Costa Rica, Indonesia, Guatemala y Perú. En contraparte, la calidad del café veracruzano denota ser una de las mejores del orbe, existiendo evidencias tanto en reportes históricos, como premios logrados en el certamen Taza de Oro y actualmente los destacados resultados en Taza de Excelencia, que denotan la alta calidad de origen, alcanzando el segundo mejor precio histórico de subasta en dicho concurso. Las causas de esta baja competitividad apuntan a la forma en cómo se integra la cadena de suministro, que se analiza en el siguiente subtema.

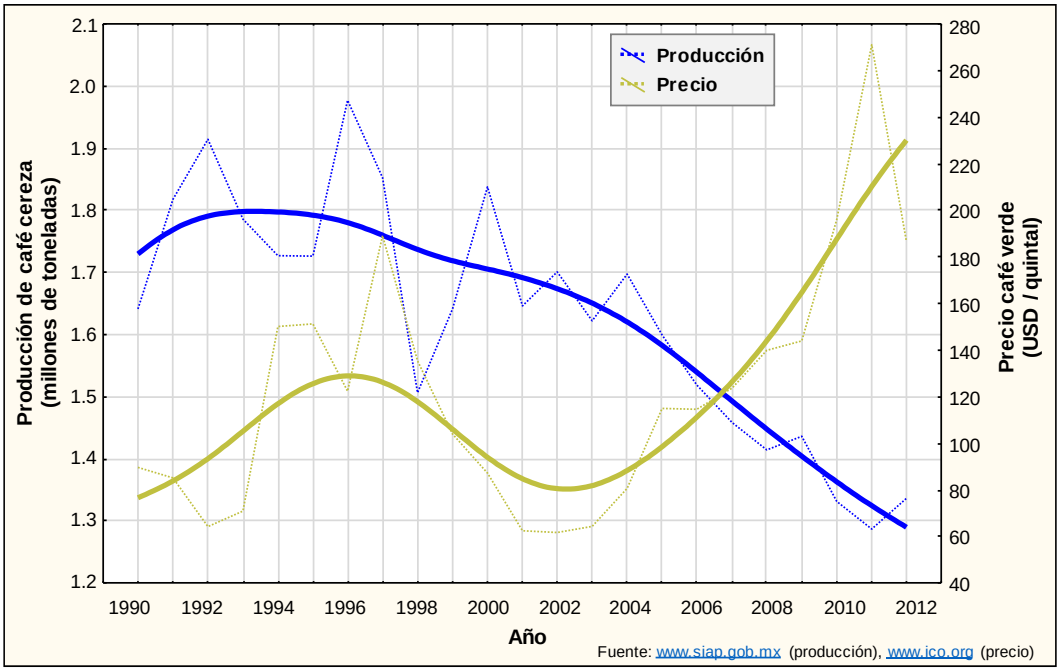


Figura 4.6. Comportamiento de la producción del café en México y la dinámica de las cotizaciones del mercado internacional.

Cadena de suministro

En cuanto al sistema de valor y su cadena de suministro, la fragmentación de la misma es lo que prevalece en vez de la integración. Miles de productores en proceso de consolidar o de reivindicar sus organizaciones, venden su café en fruto al "mejor postor" en las compras locales, a los denominados "coyotes". Bajo este esquema, la constante es el castigo al precio del producto y, por ende, la ley del mínimo esfuerzo por parte del productor para la venta y entrega del mismo.

La competencia de los industriales por ganar el producto en campo está dada por la fuerza de su capital e infraestructura, y la capacidad de sobreponerse al competidor. Las deficiencias en los procesos de industrialización, aunados a la mala calidad de la materia prima, que no reconoce calidades ni orígenes, sólo volumen, derivan en un producto donde prevalece la calidad media y baja. Por lo tanto, la comercialización del mismo obedece a estos parámetros y la habilidad de negociación del comercializador.

El flujo de capital que circula en la cadena, depende de las cotizaciones del mercado de futuros derivado de la New York Stock Exchange (NYSE): Intercontinental Exchange (ICE). La mayor parte del volumen del café se negocia mediante la fijación de contratos C (https://www.theice.com/products/15/Coffee-C-Futures), por un agente exportador. El agente comercializador adquiere contratos a la mejor cotización cubriendo un precio a futuro por 1, 2, 3, ó más años, según sus capacidades financieras y habilidades de su correduría de bolsa. De este modo, cubre su inversión y tiene un precio piso o techo estable. Sin embargo, la mayoría de los contratos C de compra o venta, no se ejecutan como tales, sino que antes del vencimiento del mismo, se realiza una autocompra o autoventa del contrato. Es decir, el contrato C se utiliza sólo como un medio de aseguramiento financiero, y la compraventa del café se realiza en un mercado físico negociado entre un vendedor-comprador en un momento dado (Hull, 2002). De esta manera, el valor de compraventa puede ser mayor o inferior que el del contrato C adquirido. Lo que es importante señalar es que la adquisición de un instrumento de futuros, regularmente garantiza un mayor precio que la cotización del día, es decir del precio de cierre diario en el sistema ICE. Además de que el verdadero valor de comercialización del café, es parte del "*knowhow*" de cada comercializador y no se publica.

La fijación de los precios de compra del café en campo a los productores de la región, parte del cierre del día según el ICE, que es el precio más bajo del mercado de futuros; de este modo, el productor absorbe la volatilidad del mercado día a día, sin alguna protección financiera y con el precio más bajo del mercado convencional. A este precio se restan los costos y ganancias del exportador, menos los costos y ganancias de uno o dos intermediarios industriales si los hubiera, y los costos y ganancias del comprador-acopiador local. De esta manera, es posible calcular el Porcentaje de Transferencia del Valor del cierre (PTV) al productor, es decir, la parte proporcional del precio del cierre del día reportado en el ICE, que se hace efectiva en el pago al productor por su producto. Nuestro análisis de 2011, muestra que el porcentaje del precio de bolsa que se paga o se transfiere al productor, osciló de 52.88% a 86.95%, con un promedio de 72.51%, en comparación con el 80% al 95% como indicaron Costa Rica, Brasil y Colombia en la Cumbre Latinoamericana del Café, celebrada en agosto de 2012 en Boca del Río, Veracruz.

Se podría pensar que el comercio nacional es estable, ya que el valor del producto final que es el café tostado y molido se encuentra sujeto a dinámicas económicas nacionales como la inflación y el IVA; sin embargo, aunque el café sea destinado al consumo nacional, éste se comporta de igual modo que el de exportación, con apego a la bolsa de valores, ignorando por completo las dinámicas económicas nacionales o regionales, mientras que en Colombia y otros países, el mercado nacional es ajustado por una regulación gubernamental (Espinal *et al*., 2005). En México, lo anterior se traduce en beneficios económicos para los tostadores nacionales, ya que cuando hay un alza en las cotizaciones internacionales, el precio del café tostado sube, y cuando hay una caída en los precios internacionales del grano, el café tostado mantiene su precio. Por el contrario, el productor de café se descapitaliza con cada caída en los precios, además de la pérdida de productividad; posteriormente, cuando el precio está alto, su productividad está baja debido a la descapitalización, y cuando vuelve a recuperar la producción de sus fincas, vuelven a bajar nuevamente los precios, sufriendo una nueva descapitalización. Esta ha sido una dinámica recurrente en los últimos 20 años, convirtiéndose en un círculo vicioso que es causa de la caída del volumen de producción del país y de su competitividad en el mercado mundial del café, involucrando la descapitalización de productores, abandono de cafetales o cambio de uso del suelo y migración (Nava, 2010).

Retos y oportunidades

Como se ha revisado anteriormente, la producción del café está sometida fuertemente a ciclos de oferta-demanda del producto a nivel internacional. En el año 1999, la producción en México estaba en un estado privilegiado, alcanzando 6.2 millones de sacos, la más alta reportada desde la crisis de finales de los ochenta. Sin embargo, el precio se desplomó en el lapso de dos años hasta llegar a alrededor de $1.00 el kilogramo de café cereza en 2002. En esta recesión de precios, en vez de haberse inyectado recursos de manera inmediata, eficaz y estratégica, se abandonaron muchas fincas, desplomándose nuevamente los niveles de producción hasta en 33.2% para 2007. Desde 2005 los precios internacionales se han recuperado, lo cual también ha permitido la recuperación de las fincas por la inversión de los productores. Además, la banca vuelve nuevamente su interés hacia el sector que había dejado de lado como sujeto de crédito en época de recesión. A pesar de estos esfuerzos, la producción

nacional para el ciclo 2011-2012 fue de 4.3 millones de sacos. Estos ciclos de altibajos en precios son un mal que afecta no sólo a México, sino a todos los países productores, y se han presentado a lo largo de la historia del comercio de café.

La idea de la alta producción como meta máxima, es repetida en prácticamente todos los organismos e instituciones vinculadas al café y la pregunta es: ¿de qué sirvió la alta producción de finales de los noventa ante la recesión? La broca del café se dio un verdadero "festín" con la alta producción de las cosechas, que ni siquiera regaladas se querían levantar, convirtiéndose en un grave problema de sanidad vegetal. Ciertamente, la producción es un elemento fundamental para la rentabilidad de un productor, sin embargo, no es el único elemento de desarrollo; temas importantes como la calidad del grano, la integración productiva y la competitividad, son ingredientes para el éxito de cualquier proceso productivo-comercial (Hernández-Martínez *et al.*, 2013). En un diagnóstico realizado para elaborar el Plan de Innovación de la Cafeticultura en el Estado de Veracruz, temas como el valor agregado y la calidad del producto, ocuparon la prioridad de 27 y 36 respectivamente, de 46 temas (Castillo *et al.,* 2011), lo que muestra un bajo aprecio de estos elementos fundamentales en los esquemas de competitividad.

La calidad contempla varios aspectos básicos que son contenido inevitable en una negociación normal con un tostador experimentado. Por lo tanto, se vuelven temas prioritarios de la política pública que los diferentes países productores han asumido en diferentes escalas y niveles de impacto. La calidad está relacionada con las microrregiones, los parámetros agroclimáticos del territorio y las variedades de café, que tienen su mejor expresión tanto en productividad como en taza y resistencia a plagas y enfermedades, ya sean arábicas, catimores, robustas, o híbridos de última generación, según sea el potencial de la microrregión. Así, calidad significa tener una política de ordenamiento genético y bancos de germoplasma que distribuyan semilla certificada, es tener plantaciones uni-varietales, una cultura no tan sólo de la fertilización, sino de manejo del suelo con base en el concepto de nutrición vegetal y la conservación del sistema edafológico, fomentar una cultura de la recolección de café maduro, efectuar análisis de la calidad del café en pergamino, verde y en taza, y que estos conocimientos sean manejados tanto por productores como por industriales-comercializadores, tostadores y

cafeterías. También es la cultura y estímulo de la producción de cafés diferenciados bajo diversas certificaciones, y finalmente, crear y fomentar la cultura del consumo y orgullo del café que se produce en nuestras regiones, que ofrece una amplia variedad de sabores, aromas y sensaciones al paladar (Oberthür *et al*., 2012). El café en Veracruz no sólo es un producto, sino también cultura, es paisaje, es turismo y es el principal factor de conservación del agua, el suelo y la biodiversidad; además es un elemento importante en la regulación climática del estado, después de los pocos remanentes de bosque que quedan (Manson *et al*., 2008).

Cabe resaltar que actualmente uno de los conceptos innovadores en la agricultura es la trazabilidad, misma que significa conocer de qué plantación proviene el producto y bajo qué prácticas fue cultivado, dónde fue beneficiado en húmedo y en seco y bajo qué tipo de procesos, dónde fue tostado y dónde fue vendido. Este sistema es de gran utilidad cuando se requiere mantener el control de calidad del producto y la búsqueda de la eficiencia en los procesos en la cadena productiva. Además, los productos con trazabilidad son bien apreciados por el consumidor.

La competitividad del café veracruzano será un resultado de acciones integrales de mejora en la productividad, la calidad y la integración productiva. Es indispensable que los eslabones de la cadena se visualicen como aliados en lugar de antagónicos y donde el esfuerzo al trabajo de calidad sea recompensado en cualquier nivel de comercialización. Ésta no será una recompensa subjetiva o de buena voluntad, sino paramétrica, es decir, cuando se reconozcan y se institucionalicen parámetros de compra-venta en cualquier nivel y éstos sean el estímulo al trabajo realizado con dedicación y se conviertan en reinversión en el sector. De este modo se incentivará la reinversión en mantenimiento de cultivos y su productividad, para compra de maquinaria, para manejo de suelos, y en concreto para el desarrollo integral del sector.

Una visión amplia de los parámetros de compra-venta incluye: la región y sus condiciones agroclimáticas (no sólo la altitud) de donde proviene el café, la variedad, el peso real de café cereza para generar 46 kg de café verde y porcentaje de frutos maduros de buena calidad. De igual forma, cualquier vendedor de café ya sea productor, industrial-comercializador, tostador o cafetería, tendría que conocer la calidad en taza, porque eso es a fin de cuentas

lo que se vende. Lo aquí descrito no es de ningún modo, develar el gran secreto del éxito de la cafeticultura, son las tareas que países productores han desarrollado, obteniendo resultados palpables, y que para verlos, sólo hace falta echar un vistazo a nuestros vecinos del sur para comparar y darnos cuenta lo que aún no hemos "Hecho en México".

En México y particularmente en Veracruz, se tiene una posición privilegiada en la geografía mundial de la producción de café. Se está en el límite norte, teniéndose café de altura sin tantos problemas fitosanitarios severos como roya o broca del café (incluso en el agresivo brote pasado de roya, el impacto fue mucho menor que en otras regiones o países), comparándose con los países productores en el trópico ecuatorial. De esta forma, existe una gran variedad de condiciones agroclimáticas aptas para el cultivo de cafés arábicos de alta calidad, incluyendo robustas en la zona baja, además de sistemas bajo sombra diversificados (Hernández-Martínez *et al*., 2009), mejores precios de los energéticos que algunos otros países productores y mano de obra, que, en el peor de los casos, se va a contribuir al desarrollo económico del país vecino del norte (Nava, 2010).

Aunque suene trillado, resulta cierto que la tarea es de todos y será menester de cada eslabón de la cadena ser más competitivo en lo particular o quedará en el rezago. El liderazgo de acción pudiera venir de cualquier parte, por ejemplo, la multicitada Federación Colombiana está formada por productores de café bien organizados y con objetivos comunes, aunque ciertamente esa debería ser tarea del Estado Mexicano en cualquiera de sus niveles de organización, al procurar un desarrollo homogéneo de los diferentes territorios y sus habitantes. En Veracruz, hace tres años se inició un fuerte trabajo de vinculación Academia-Productor, bajo el modelo de "I+D+i" (Investigación que produce Desarrollo tecnológico, que genera innovación en el mercado) bajo una alianza estratégica denominada "*Café In Red*" que fue financiada por los Fondos Regionales del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Fordecyt), que agrupa centros de investigación, asociaciones civiles y al sector cafetalero.

De este proyecto, con el modelo CADECAF durante los últimos tres años, mediante la confianza, trabajo y empeño de los productores, además de un seguimiento de los trabajos realizados, se lograron vincular directamente con tostadores, varias partidas de cafés de alta calidad calificados por arriba de 80

puntos (en una escala con valor máximo de 100) bajo parámetros de la SCAA. Este esquema mostró la posibilidad de generar precios de venta hasta un 240% por arriba del valor del precio convencional, cotizándose según la valoración del tostador. La venta del café con este sobreprecio, ha motivado a los productores a seguir produciendo café de calidad, conservar su cafetal, el bosque que lo alberga y, además, ha fomentado el relevo generacional, ya que los hijos de algunos productores después de las primeras ventas, se interesaron por participar en la cadena de valor.

El modelo CADECAF opera contrario a la lógica de castigos al precio del producto. Mediante la vinculación directa productor-tostador se han logrado posicionar bajo el sello de Certificación Oikos Calidad Integral®, cafés de alta calidad con compradores nacionales e internacionales, que conocen la punta donde se origina la cadena de suministro y saben el monto de los recursos económicos que llegan al origen. El modelo logró mostrar que existe un mercado que está dispuesto a pagar el café que se produce mediante el trabajo que refuerza la organización para la acción en equipo, el manejo de buenas prácticas, la trazabilidad, el análisis del producto y el vínculo con el origen (Hernández-Martínez *et al*., 2013).

Para continuar con este tipo de prácticas no se visualiza un camino fácil, ya que hay que sortear la falta de un sistema permanente de extensionismo especializado, falta de financiamiento acorde al minifundista y la necesidad del productor por vender su café para poder atender los gastos del día a día, así como la incertidumbre de encontrar o no un comprador que realmente pague por el trabajo realizado, además de la escasa infraestructura de los productores. Para incrementar los resultados de un modelo integrador de la cadena de suministro, será determinante la participación activa y responsable del gobierno, productores, industriales, tostadores, cafeterías y consumidores, poniendo en práctica un trabajo conjunto que implica esfuerzo, equidad, paciencia, constancia, confianza para alcanzar la difícil meta del concepto poco comprendido, denominado bienestar común.

Literatura citada

Akaki, P. P. y F. Echánove H. 2005. Cadenas globales y café en México. Cuadernos Geográficos (38):69-86.

Castillo, P. G., S. Díaz C., L. Martínez M. y A. Landeta E. 2011. Plan de innovación en la cafeticultura en el estado de Veracruz. Universidad Autónoma Chapingo. Instituto Nacional para el Desarrollo de Capacidades del Sector Rural A. C. Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café A. C. Sistema Producto Café. México, D. F. 144 p.

Cressey, D. 2013. Coffee rust regains foothold. Nature 493(7434):587.

Espinal, G. C., H. J. Martínez C. y X. Acevedo G. 2005. La cadena del café en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, Colombia. 33 p.

García, C. R. y E. S. Olaya E. 2006. Caracterización de las cadenas de valor y abastecimiento del sector agroindustrial del café. Cuadernos de Administración 19(31):197-217.

Gómez, M. R. 2003. Situación de la red café, oportunidades de desarrollo en México. Boletín Informativo 34(319):1-106.

Hernández-Martínez, G. 2008. Clasificación agroecológica. p. 15-34. *In*: Manson, R., V. Hernández-Hortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología, A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Hernández-Martínez, G., S. Escamilla, T. Velázquez y J. P. Esparza. 2013. La calidad: parte de una estrategia de sostenibilidad cafetalera en Veracruz, México. LEISA Revista de Agroecología 29(2):17-20.

Hernández-Martínez, G., R. Manson and A. Contreras H. 2009. Quantitative classification of coffee agroecosystems spanning a range of production intensities in central Veracruz, Mexico. Agriculture, Ecosystems & Environment 134(1):89-98.

Hull, J. C. 2002. Introducción al mercado de futuros y opciones. 4a ed. Prentice Hall. Madrid. España. 491 p.

López, M. R., J. L. Martínez R., G. Díaz P. y J. G. Salazar G. 2004. Indicadores agroecológicos y socioeconómicos de la cafeticultura en la zona centro del estado de Veracruz. Informe Técnico del proyecto: Estudio sobre sistemas agroforestales y agrosilvopastoriles para un manejo sustentable de la cafeticultura en la zona centro del estado de Veracruz. INIFAP. CIRGOC. Sitio Experimental Xalapa. Xalapa, Ver., México. 69 p.

Manson, R., A. Contreras H. y F. López-Barrera. 2008. Estudios de la biodiversidad en cafetales. p. 1-14. *In*: Manson R., V. Hernández, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología, A. C. Instituto Nacional de Ecología. México D. F.

Marchal, J. y R. Palma. 1985. Análisis gráfico de un espacio regional: Veracruz. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos/ Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo de la Cooperación (INIREB/ORSTOM). Xalapa, México. 220 p.

Nava, T. M. E. 2010. Migración y desarrollo rural, en cuatro regiones campesinas de Veracruz. Gobierno de Veracruz. Colegio de Veracruz. FOMIX-CONACYT. México. 163 p.

Norma Mexicana NMX-F-551-SCFI-2008. Café verde-especificaciones, preparaciones y evaluación sensorial. http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2008/NMX-F-551-SCFI-2008.pdf [consultado el 31 de diciembre de 2013].

Oberthür, T., P. Läderach, H. A. J. Pohlan and H. J. Cock. 2012. Specialty coffee: Managing quality. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Penang Malaysia. 347 p.

Porter, M. E. 2002. Ventaja competitiva: creación y sostenimiento de un desempeño superior. Ed. Patria. 10a reimpresión. México. 556 p.

Porter, M. E. 2008. Las cinco fuerzas competitivas que le dan forma a la estrategia. Harvard Business Review 86(1):58-77.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=181&Itemid=426. [consultado el 2 de mayo de 2013].

V. Planeación participativa y multiobjetivo del sistema producto café en la Zona Centro del Estado de Veracruz: aplicación de un sistema soporte para la toma de decisiones

Ignacio Sánchez Cohen[1], Gabriel Díaz Padilla[2], Modesto C. Castillo Guerrero[3], Martín A. López Ramírez[4], Rosalío López Morgado[5]

[1] Investigador del Programa Manejo Integral de Cuencas del INIFAP.
sanchez.ignacio@inifap.gob.mx
[2] Investigador del Programa de Agrometeorología y Modelaje del INIFAP.
[3] Estudiante de Maestría del Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO-UV).
[4] Estudiante de Doctorado de la Universidad de Varsovia, Polonia.
[5] Investigador del Programa de Cultivos Industriales Perennes del INIFAP.

5.1. Introducción

En las regiones cafetaleras de la Zona Centro del Estado de Veracruz, la cafeticultura es llevada a cabo bajo sistemas familiares de producción, cuyos rendimientos de café cereza apenas alcanzan los 10 quintales por hectárea y sus costos de producción están por encima de los ingresos. Esta situación problemática en la producción primaria de café, operada en su mayor parte por pequeños productores, ocasiona fuertes crisis socioeconómicas en las regiones cafetaleras. Las posibles alternativas de solución, deben ser consensadas con los actores de la cafeticultura, en situaciones de precios bajos del grano en el mercado internacional, debido a que la situación de precios bajos, continuará y difícilmente cambiará, de acuerdo a proyecciones de los expertos (Seudieu, 1998). Investigaciones indican que el pequeño cafeticultor deberá aplicar estrategias distintas a las referidas únicamente a la búsqueda de rendimientos altos de café cereza. Cartay (1999) enuncia tres iniciativas: adoptar el cultivo orgánico de café, diversificar y optimizar la producción, así como profundizar los esfuerzos en mejorar la escala de sus operaciones a través de las asociaciones cooperativas y de otros tipos de organización solidaria.

Las acciones de investigación-desarrollo en programas y proyectos de desarrollo rural, han mostrado ineficacia cuando son operadas sin previo conocimiento científico de las realidades agrarias, sobre las cuales se piensa trabajar. Las condiciones y modalidades de desarrollo agrícola que se han originado en el

seno de los núcleos agrarios, merecen un conocimiento pleno por parte de los agentes de cambio y facilitadores del desarrollo regional (Dufumier, 1993). De esta forma, cobran importancia los estudios de diagnóstico, los cuales son trabajos científicos que explican cómo conciben y entienden sus problemas los productores, además de esclarecer algunos de los principios de tales concepciones (Doorman *et al*., 1991). Cuando estos estudios de diagnóstico, se hacen consultando a grupos de productores o a la comunidad en torno a una temática preestablecida, el método utilizado se conoce como Diagnóstico Rural Participativo (DRP), el cual tiene como objetivo la evaluación de la realidad de una determinada comunidad, de sus problemas y respectivas soluciones, pretendiendo aumentar la participación y desarrollo de capacidades de la gente, para actuar localmente (Bullich, 2006; Uribe *et al*., 2015). Una vez que se tiene conocimiento del contexto objetivo de estudio, es necesario aplicar procesos de toma de decisiones en forma participativa para generar compromisos entre facilitadores, la gente y los financiadores de acciones de investigación-desarrollo en el medio rural (Heilman *et al.,* 2006; Saaty, 2007; Sánchez *et al*., 2008). Generalmente el ser humano continuamente toma decisiones, la mayoría de las veces crea un modelo mental para soportarlas y actúa en consecuencia; en ocasiones, este modelo es incompleto, sobre todo cuando las alternativas y las variables de decisión aumentan. Otro nivel de complejidad del modelo mental resulta cuando un grupo de personas con un interés común, debe definir sus opciones y criterios y priorizarlos para tomar una decisión; ante esta situación, existe el programa de cómputo, genérico y de uso libre llamado "*Facilitator*", herramienta auxiliar en la toma de decisiones multicriterio y multiobjetivo bajo un entorno participativo. Este sistema de soporte permite, modelar escenarios sobre qué pasaría si tomáramos decisiones, jerarquizando criterios de decisión y valorando impactos. Por decisiones participativas, se entienden procesos para realizar algo, partiendo de las propias capacidades y conocimientos de los involucrados. Mediante estos procesos, los interesados, se empoderan para explorar posibles opciones, que pueden cambiar dentro de sus capacidades. Adicionalmente, los procesos integran perspectivas de los involucrados y aseguran que los participantes vean el problema de la misma manera, para lograr consensos en la planeación (Lawrence *et al.,* 2000). Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue utilizar el programa *Facilitator*, para analizar la problemática del cultivo de café en la Zona Centro del Estado de Veracruz, según el árbol de problemas generado a partir de tres niveles de intervención diagnóstica-región,

comunidad, finca-con productores de café, y tomar decisiones, que permitan observar diversos escenarios y soluciones, y al final del proceso, consensuar un plan de trabajo con los productores de café participantes.

5.2. Materiales y métodos

Los componentes del proceso participativo para la toma de decisiones desde una perspectiva multicriterio y multiobjetivo son, según Sánchez (2005): 1) establecer el tema, cuestión o problema a resolver, 2) identificar a los involucrados quiénes y en qué deben participar, 3) definir las opciones posibles, 4) definir los criterios para evaluar las opciones, 5) establecer una matriz para cuantificar el impacto de cada criterio en opción, 6) permitir a los involucrados ensamblar los criterios de decisiones en orden de importancia, 7) realizar un análisis multicriterio y multiobjetivo basado en los escenarios de los involucrados, y 8) priorizar las opciones para próximas decisiones. Una esquematización de lo anterior, se muestra en la Figura 5.1.

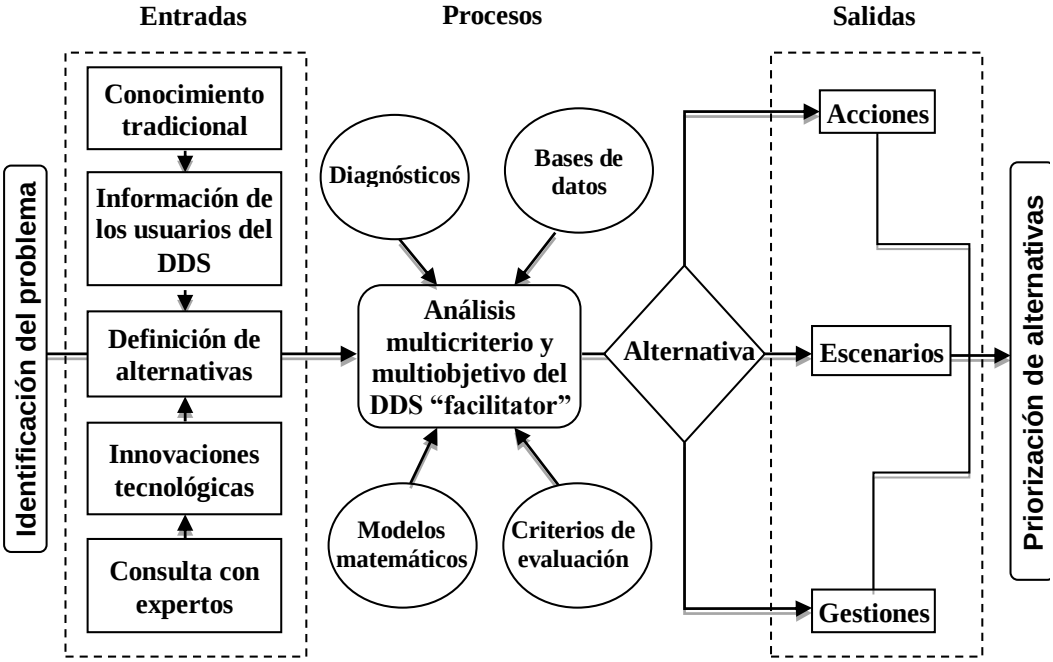


Figura 5.1. Representación esquemática del proceso participativo para la toma de decisiones multicriterio y multiobjetivo.

El citado programa de cómputo: "*Facilitator*" fue desarrollado por el Departamento de Recursos Naturales en Queensland, Australia, para asistir al proceso de toma de decisiones (Lawrence *et al.,* 2000; Heilman *et al.,* 2006). Dicha herramienta es un sistema de soporte de decisiones diseñado para usarse por los implicados y el grupo técnico a través del proceso de involucramiento. Posteriormente, Lane *et al.* (1991), Yakowitz *et al.* (1993) y Lawrence *et al.* (2000), continuaron con el desarrollo de un prototipo.

El supuesto esencial de este programa de cómputo, es que el problema a resolver puede formularse en forma de matriz, en la cual los criterios de decisión representan un eje, y la selección de posibles opciones representan el otro.

El algoritmo matemático fundamental del software "*Facilitator*" es el siguiente:

$$V(w,v) = \sum_i w_i v_j$$

Donde **V**, es el valor general buscado entre la variable de decisión (*v*) y el peso elegido para cada variable (w), y obtenido por la suma de productos de un peso, w_i, asociado con cada variable de decisión, o criterios, y el valor, v_j, de esa variable de decisión. A pesar de que es relativamente simple, puede ser difícil de aplicar en la práctica, pues quienes toman decisiones encuentran difícil aplicar o asignar pesos a las variables.

Para ayudar en esto, Yakowitz y Weltz (1998) mediante técnicas de optimización formularon la siguiente solución:

$$max(min)V_j = \sum_{i=1}^{n} w_i v_{ij}$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$$

sujeto a

$$w_1 \geq w_2 \geq \cdots \geq w_n \geq 0$$

En cualquier caso, minimizar o maximizar normaliza la suma de pesos a 1, mientras que la segunda restricción requiere que la solución sea consistente con orden de importancia y restringe a que los pesos no sean negativos. La solución de las dos funciones produce el rango completo de todas las composiciones de valores, que incide entre la mejor y la peor puntuación. En un estudio posterior, Yakowitz y Weltz (1998) mejoraron el sistema de pesos de

puntuación incorporando una rutina para dar pesos diferentes de acuerdo a la jerarquía de las opciones, ya sea por ellos mismos o agrupados.

Estudio de caso: Sistema Producto Café en la Zona Centro del Estado de Veracruz, México

Los enfoques, métodos y prácticas en el área agrícola están contribuyendo a la construcción de un nuevo paradigma de producción rural sustentable, adaptada a las condiciones ecológicas y culturales de los diferentes países, regiones y localidades de América Latina y el Caribe. Al mismo tiempo, el proceso de capacitación ambiental se va construyendo a través de un proceso de diálogo de saberes entre las instituciones de investigación y enseñanza, las innovaciones de los técnicos agroforestales y los saberes locales de las comunidades, generando así nuevas vías para alcanzar un desarrollo sustentable de la región en su conjunto (Leff, 2002).

En 2006, México fue el décimo productor de café del mundo al aportar cerca de 3% de la producción mundial (ICO, 2006). Con base en datos del Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP, 2006), en México el café es el segundo cultivo perenne de importancia, siendo cinco los estados que contribuyen con el 90% de la superficie cosechada, entre los cuales, Veracruz es el tercero con una aportación del 20% de la producción nacional. En Veracruz, hay 96 municipios productores de café, de los cuales se pueden mencionar como los de mayor producción a Tezonapa, Coatepec, Huatusco, Ixhuatlán del Café y Zongolica, que en su conjunto aportan el 30% de la producción estatal.

Problemática y sus causas. La problemática de la producción primaria y la actual situación financiera del café, requieren de alternativas tecnológicas que impriman rentabilidad a la finca e impulsen la cafeticultura en un marco de rentabilidad y sustentabilidad de la misma. La mayoría de los sistemas de manejo de café más promisorios para responder a estas preocupaciones económicas y ecológicas tienen un atributo en común: la presencia de árboles. De ahí el interés creciente en la diversificación de cafetales con árboles para reducir costos y aumentar ingresos por la venta de otros productos (Muschler, 1999). El proceso para la construcción de árboles de problemas y sus causas se hizo mediante consulta directa a 30 productores, registrando matrices de problemas-causas y alternativas de solución, que se aplicaron en los Talleres de

Evaluación Rural Participativa (TERP), utilizando técnicas participativas grupales.

En las Figuras 5.2 y 5.3 se indican los árboles de problemas para los principales componentes del agroecosistema café en la Zona Centro del Estado de Veracruz, donde de manera participativa los involucrados, están considerados. La resultante de la problemática en la producción de café es la rentabilidad baja del cultivo, cuyas causas o raíz son la descapitalización de los productores, la escasez de apoyos, la falta de capacitación, los accesos difíciles a las fincas y la alta incidencia de broca; todo con una causa macro, el precio bajo del café.

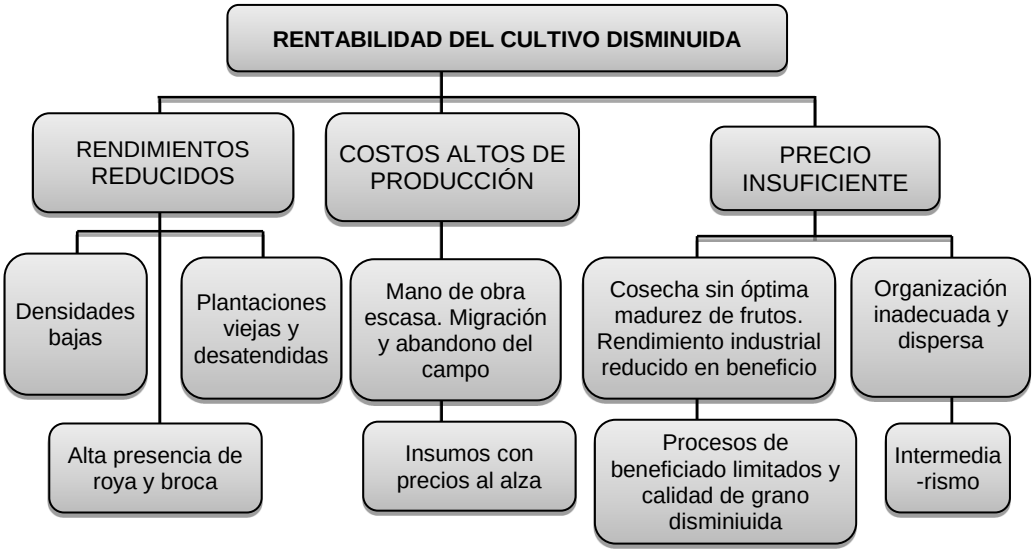


Figura 5.2. Árbol de problemas del componente café del agroecosistema.

Asimismo, los árboles componentes del subsistema de sombreado en el agroecosistema, tienen como resultado de la problemática el bajo ingreso proveniente de la venta de madera, a causa de problemas raíz como capacitación nula en el manejo del recurso forestal, mecanismos ausentes de clasificación y certificación formal de la madera, y arreglo vertical y horizontal del arbolado de manera aleatoria y fortuita. Además de un manejo, por parte de los productores, bajo la estrategia de inversión mínima predominante en economías campesinas (Figura 5.3).

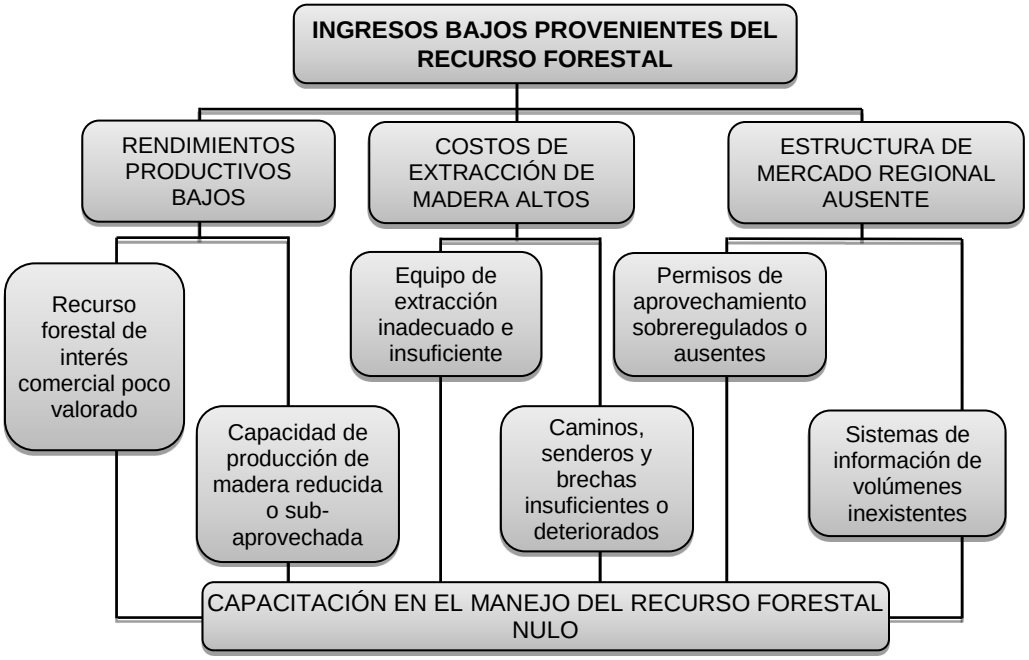


Figura 5.3. Árbol de problemas del componente árboles en el agroecosistema.

Mientras que la palma camedor cultivada en el sotobosque del cafetal tiene problemas de precios bajos al productor por un intermediarismo alto, los acopiadores mayores exigen calidad, que es difícil de lograr por falta de tecnología para un manejo adecuado del cultivo, que ayude a obtener la calidad de follaje exigido por los compradores.

El porcentaje de frondas desechadas por daños físicos, manchado, o tamaño de frondas traducido en calidad del producto, ocasiona rendimientos finales bajos. Por otro lado, la falta de apoyos para contar con material de plantación de palmas, ocasiona superficies sembradas bajas y volúmenes ofertados en comunidades, bajos (Figura 5.4). El plátano, es uno de los productos con menos problemas, sin embargo, los precios bajos son también causa de ingresos bajos al productor. Un problema fuerte en la región de Atzalan, es la enfermedad de la sigatoka, la cual encarece los costos de producción.

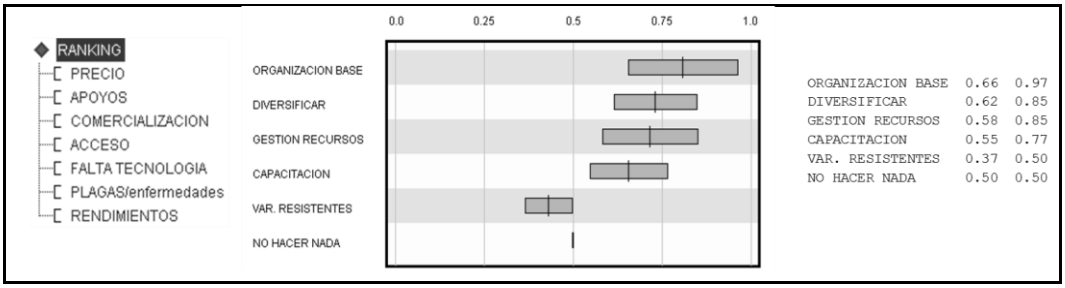


Figura 5.4. Resultados del análisis sin agrupar criterios de decisión: precio, apoyos y comercialización.

5.3. Resultados y discusión

Se realizó un análisis multicriterio y multiobjetivo jerarquizando las opciones una a una (Peniwati, 1995) en acuerdo con el sentir del productor. Posteriormente se agruparon en acuerdo con ciertos criterios de similitud. En este mismo orden se presentan los resultados sobresalientes de los análisis realizados (Figuras 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 y 5.9).

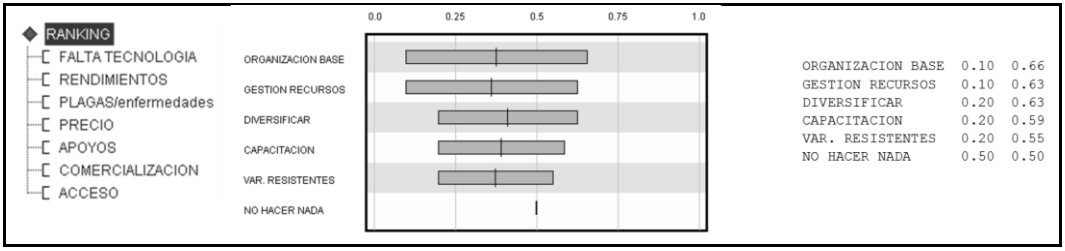


Figura 5.5. Resultados del análisis sin agrupar criterios de decisión: falta de tecnología, rendimientos y control de plagas.

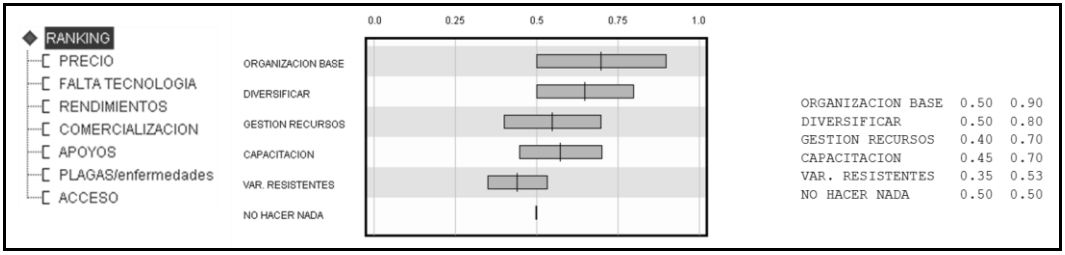


Figura 5.6. Resultados del análisis sin agrupar criterios de decisión: precio y tecnología.

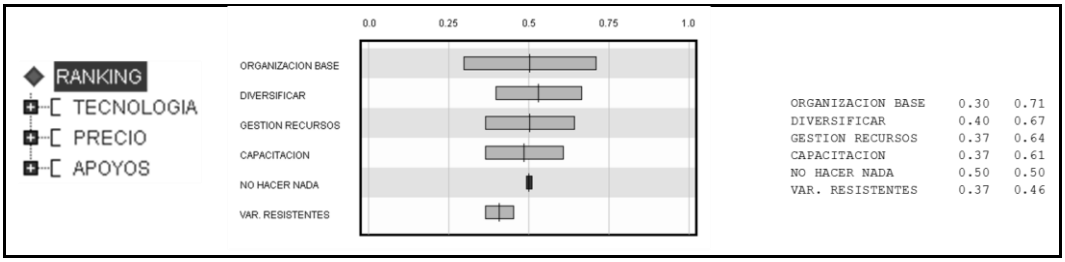


Figura 5.7. Resultados del análisis con la agrupación de criterios de decisión: tecnología, precios y apoyos.

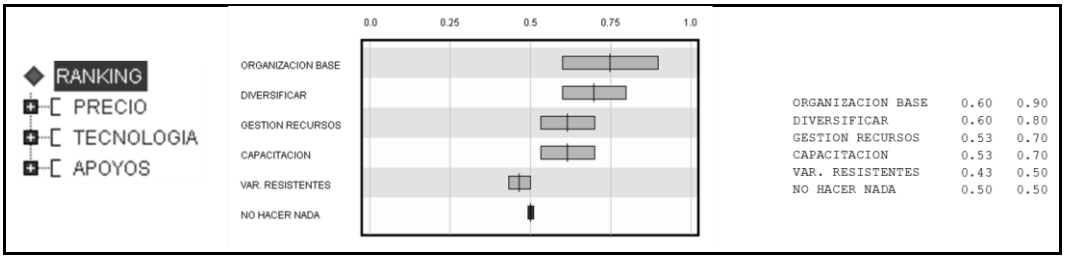


Figura 5.8. Resultados del análisis con la agrupación de criterios de decisión: precio, tecnología y apoyos.

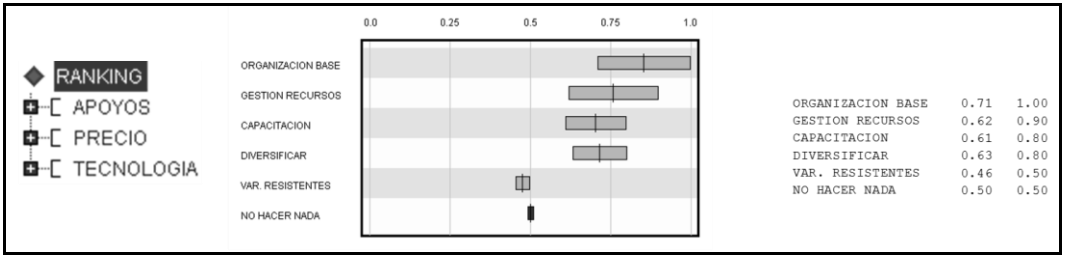


Figura 5.9. Resultados del análisis con la agrupación de criterios de decisión: apoyos, precio y tecnología.

Mediante reglas de decisión, se generó un sistema jerárquico para los criterios de clasificación con el objetivo de identificar alternativas propuestas articuladas en acciones, escenarios o gestiones. Conforme al listado de problemas organizado en niveles y sub niveles presentado en la Figura 5.2, el análisis jerárquico de las alternativas en los problemas identificados en el agroecosistema café presentó consistencia en todas sus posibles combinaciones, siendo recomendable como la mejor alternativa de gestión promover la organización base (con valores desde 0.66 a 0.97) para los

problemas identificados como “precio del café” “apoyos” y “comercialización”, entre otros. La segunda alternativa propuesta para solucionar sus problemas es un escenario propuesto donde sus fincas cuenten con diversificación productiva (con valores desde 0.66 a 0.97). Variedades resistentes no parece ser una opción adecuada si la variable de decisión es económica. En la Figura 5.3, los problemas que causan los bajos ingresos provenientes del recurso forestal en el cafetal, se cambió el orden jerárquico como la falta de tecnología como primer nivel jerárquico de la decisión; en este sentido, resultó nuevamente como mejor alternativa la gestión de organización de los productores, la gestión de recursos y la diversificación productiva. A diferencia de lo esperado, acciones a emprender como capacitación de los productores no obtuvieron valores considerables en este análisis.

5.4. Conclusiones

Los productores de café hicieron énfasis en la necesidad de la organización de productores con base en pequeñas sociedades locales con objetivos comunes y equidad en los logros. Ellos manifestaron estar de acuerdo con los resultados que se obtuvieron en el DDS-*Facilitator*, ya que ellos entienden que esta alternativa será detonante en cadena para solucionar todos los problemas, que invertir tiempo solucionando cada uno de manera individual.

La falta de recursos para hacer inversiones productivas, la ubican en la gestión de recursos, en donde la fluctuación en los precios del café, no da seguridad como para endeudarse con créditos. La diversificación productiva es una gran opción para hacer más rentable a la finca, pero las opciones tecnológicas plátano, palma camedor, maderables y cítricos, es lo más común (López *et al*., 2013).

Capacitarse no es una acción visualizada como importante, ya que los productores entrevisados manifiestan que el precio del café, y en general de los productos agropecuarios, los obliga a buscar oficios fuera del agro; sin embargo, tienen interés sobre capacitación sobre valor agregado, como métodos de producción orgánicos.

El gran plan consensuado con los productores y mediante la ayuda del sistema soporte a la toma de decisiones es: organizarse, gestionar recursos, diversificar y recibir asistencia técnica y capacitación. La asignación de valores a las alternativas versus criterios, se dificultó, pero una vez conseguida, el uso de sistemas soporte a la toma de decisiones resultó bastante útil, ya que permitió jerarquizar las alternativas y vislumbrar posibles escenarios de impacto al tomar ciertas decisiones.

En resumen, el mercado de los productos y la incipiente organización de productores no ayudan al productor a obtener mejores ingresos y situaciones que se traduzcan en mejores niveles de vida; revertir estas situaciones, es la alternativa de solución integral. Una forma de hacerle frente a la baja rentabilidad de la finca es en definitiva la plantación forestal en asociación con el cafetal, en un arreglo espacial que permita el cultivo de especies como el plátano o la palma camedor (López, 2008), mismas que podrían distribuir el ingreso al productor durante todo el año.

Literatura citada

Bullich, V. E. 2006. Diagnóstico participativo e enquadramento de agricultores familiares ao "PRONAF" florestal, em duas regiões da Mata Atlântica, no Estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestre em Ciências. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Florestas. Seropédica. RJ, Brasil. 79 p.

Cartay, R. 1999. Estrategias de sobrevivencia de los pequeños caficultores en tiempos de crisis. Agroalimentaria 5(9):79-82.

Doorman, F. J., F. Miranda, C. de Nie, J. Ooijens, Y. Ovaren, C. Ramírez, C. Sáenz y E. Sancho. 1991. La metodología del diagnóstico en el enfoque de investigación adaptativa. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 301 p.

Dufumier, M. 1993. La importancia de la tipología de las unidades de producción agrícola en el análisis diagnóstico de realidades agrarias. p. 211-218 *In:* Navarro, G. H., C. Jean-Philippe y P. Milleville (eds.). Sistemas de Producción y Desarrollo Agrícola. ORSTOM-CONACYT. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx., México.

Heilman, P., J. Stone, I. Sánchez C., H. Macias R. and R. S. Man. 2006. Working smarter: Research and decision support systems in Mexican agriculture. p. 211-233. *In:* Richardson, C., A. Baez y M. Tiscareño (eds.). Modeling and Remote Sensing Applied to Agriculture (U.S. and Mexico). USDA Agriculture Research Service-INIFAP. Aguascalientes, Ags., México.

ICO (International Coffee Organization). 2006. Exports of exporting members (calendar years). http://www.ico.org/ [consultado el 8 de febrero de 2014].

Lane, L. J., M. Asce, J. C. Ascoug and T. Hakonson. 1991. Multiobjetive decision theory - decision support systems with embedded simulation models. ASCE Irrigation and Drainage Proceedings. Honolulu, HI, USA. p. 445-451.

Lawrence, P., R. Shaw, L. Lane and R. Eisner. 2000. Participatory multiple objetive decision making processes: Emerging approaches with new challenges. American Society for Civil Enginnering. Fort Collins, Colorado, USA. https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/40499%282000%298 [consultado el 8 de febrero de 2014].

Lawrence, P. A., J. Robinson and R. Eisner. 2001. A decision environment: Going beyond a decision framework to improve the effectiveness of decision making in natural resource management. p. 1613-1618. *In*: Ghassemi, F. *et al.* (eds.) International Congress on Modeling and Simulation. Canberra, ACT, Australia.

Leff, E. 2002. Presentación del libro: Tecnologías agroforestales para el desarrollo rural sostenible. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable. México. 10 p.

López, M. R., J. M. P. Vázquez A., R. Martínez V. y M. A. López R. 2013. Rentabilidad de fincas de café. p. 423-460. *In*: López, M. R., G. Díaz P. y A. Zamarripa C. (eds.). El Sistema Producto Café en México: Problemática y Tecnología de Producción. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México.

López, M. R. 2008. Diversificación productiva de cafetales: un análisis de riesgo y rentabilidad mediante la aplicación de dinámica de sistemas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Economía. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver., México. 92 p.

Muschler, R. G. 1999. Árboles en cafetales. Proyecto Agroforestal. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Cooperación Técnica Alemana (GTZ). Materiales de Enseñanza No. 45. Turrialba, Costa Rica. 139 p.

Saaty, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology 15(3):234-281.

Peniwati, K. 1995. The Possibility theorem for group decision making: The analytic hierarchy process. Ph. D. Thesis. University of Pittsburgh. Pittsburgh, PA, USA.

Sánchez, C. I. 2005. Fundamentos para el aprovechamiento integral del agua. Una aproximación de simulación de procesos. Libro Técnico No. 2. INIFAP. CENID-RASPA. Gómez Palacio, Dgo., México. 190 p.

Sánchez-Cohen, I., J. Estrada-Ávalos y J. A. Cueto-Wong. 2008. Toma de decisiones en grupo para el manejo de los recursos naturales. Métodos de análisis y criterios de selección. Folleto Científico No. 20. INIFAP. CENID-RASPA. Gómez Palacio Dgo., Mexico. 74 p.

Seudieu, D. O. 1998. Economía mundial del café: situación actual y perspectiva. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. Boletín PROMECAFE 79:8-12.

SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2006. Anuario agropecuario 1980-2006. SAGARPA. http://www.siap.gob.mx/ [cosultado el 25 de agosto de 2014].

Uribe, G. M., A. Cruz L., D. Juárez R., A. Lara B., J. L. Romo L., R. Valdivia A. y M. Portillo V. 2015. Importancia del diagnóstico rural para el desarrollo de un modelo agroforestal en las comunidades campesinas de la Sierra de Huautla. Ra Ximhai 11(5):197-208.

Yakowitz, D. S., L. J. Jane and F. Szidarovsky. 1993. Multi-attribute decision making: Dominance with respect to an importance order of attributes. Applied Mathematics and Computation 54(2-3):167-181.

Yakowitz, D. S. and M. Weltz. 1998. An algorithm for computing multiple attribute additive value measurement rages under a hierarchy of the criteria: application to farm or rangeland management decisions. p. 163-177. *In*: Multicriteria Analysis of Land-Use Management. Kluwer Academic Publishers. Boston, MA, USA.

APARTADO II

Productividad de agroecosistemas

Cafetal bajo sombra de Ixpepe
T. micrantha

Cafetal en floración principal

Frutos en madurez plena

VI. Estructura y diversidad arbórea de cafetales bajo sistemas agroforestales: caso de la Sierra de Atoyac en la región Córdoba

Luis Eduardo García Mayoral[1], Juan Ignacio Valdez Hernández[2], Mario Luna Cavazos[3], Rosalío López Morgado[4]

[1] Investigador del Programa de Cultivos Industriales Perennes del INIFAP. garcia.eduardo@inifap.gob.mx
[2] Profesor-Investigador del Programa Forestal, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.
[3] Profesor-Investigador del Programa de Botánica, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.
[4] Investigador del Programa de Cultivos Industriales Perennes del INIFAP.

6.1. Introducción

Las características diversas de tipo geológico, edáfico, climático y fisiográfico presentes en el estado de Veracruz han generado una riqueza de plantas vasculares de entre 7,700 (Ramamoorthy *et al*., 1993) y 9,136 especies (Vázquez-Torres, 1998), lo que representa alrededor del 27.7% del total reportado para el país (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008). El bosque tropical perennifolio es el tipo de vegetación que alberga más especies de plantas en el estado, alrededor de 2,230 especies (Rzedowski, 1978), de las cuales, 160 están bajo alguna categoría de riesgo (54 son especies arbóreas) de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001 (Castillo-Campos *et al*., 2011).

Debido a que en Veracruz los ecosistemas primarios se han sustituido por actividades agropecuarias, la vegetación primaria ha mermado su superficie original en más del 85% (Castillo-Campos *et al*., 2011). Esta situación ha ocasionado que, en el país, este estado sea el segundo con mayor cambio de uso del suelo, en una magnitud del 77% de su superficie (SEMARNAT, 2013). Sin embargo, aún quedan áreas que mantienen masas de vegetación forestal, como la Sierra de Atoyac, considerándose a ésta dentro de las áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad (hotspot) en el estado; no obstante, debido a la expansión agrícola, ganadera y urbana, así como la explotación forestal y extracción de especies (Ellis *et al*., 2011), la masa forestal está siendo disminuida a un grado acelerado, viéndose amortiguada esta situación por la presencia de plantaciones de café bajo sistemas agroforestales (Villavicencio y Valdez, 2003). Las plantaciones de café bajo sombra son importantes en la

conservación de la diversidad biológica, debido a que ciertos sistemas de producción de café conservan en buena medida la estructura y funcionamiento de la vegetación boscosa donde fueron establecidos los cafetales (Perfecto *et al*., 1996; Moguel y Toledo, 2004; Schroth *et al*., 2004); es decir, el agroecosistema café desempeña un importante papel como refugio para la vida silvestre (Richter *et al*., 2007; Toledo y Moguel, 2012), la infiltración de agua y la conservación del suelo (Beer *et al*., 1998; Soto-Pinto *et al*., 2001), favorece la captura de carbono (Pineda-López *et al*., 2005; Roncal-García *et al*., 2008), y suscita servicios ambientales que aún no han sido valorados (Bishop y Landell-Mills, 2003; Manson *et al*., 2008). Además, ofrecen diferentes productos de especies asociadas al agroecosistema, que contribuyen en la economía de los productores (Moguel y Toledo, 1999). Así, el estudio de los sistemas agroforestales de café (SAF-Café) ha ganado importancia en los últimos años (Manson *et al*., 2008), vistos éstos como una alternativa que contribuye a disminuir la degradación de los recursos base: agua, suelo y biodiversidad, en las regiones cafetaleras del país (López *et al*., 2013). No obstante, son escasos los estudios que describen las características estructurales y de la diversidad de especies arbóreas en cafetales (Soto-Pinto *et al*., 2001; Méndez *et al*., 2007), ya que frecuentemente se analizan de manera indirecta o en el mejor de los casos de manera general. En México las plantaciones de café bajo sombra, o también llamados sistemas con un estrato alto de sombreado, son descritas en su estructura arbórea, como un agroecosistema complejo (Soto-Pinto *et al*., 2001; Martínez *et al*., 2007) y se estima que representan por lo menos dos terceras partes del total (Moguel y Toledo, 2004), en un gradiente amplio de modalidades que van desde los sistemas complejos con vegetación original y sombra diversificada, hasta los sistemas simples con árboles escasos y especies introducidas (Perfecto *et al*., 1996; Beer *et al*., 1998; Toledo y Moguel, 2012). Lo poco que se sabe de la riqueza de especies vivientes, apoya la necesidad de conocer lo más posible de la diversidad biológica para asegurar su manejo apropiado y conservación a largo plazo (Moreno, 2001), por lo que la caracterización de estos sistemas mediante el uso de índices que midan elementos de su diversidad es el indicador principal de la salud de los mismos (Magurran, 1988), además de permitir comparar comunidades modificadas y naturales a fin de medir el efecto de las actividades humanas sobre los ecosistemas (Halffter, 1998). En esta tesitura, el estudio que se presenta en este capítulo tuvo como objetivo caracterizar la estructura y diversidad de la vegetación arbórea en tres sistemas agroforestales de café y en una selva

mediana subperennifolia de la sierra de Atoyac, Veracruz. Contemplando el hecho de que esta selva representa la cobertura forestal original, se consideró que su riqueza y diversidad de especies arbóreas sería mayor que la de los tres sistemas agroforestales; lo anterior no ocurrió así para el caso de los sistemas complejos, donde su diversidad de especies fue similar, aún cuando los sistemas agroforestales de café han modificado o parcialmente reemplazado la vegetación original.

6.2. Antecedentes

En México, el café se cultiva en las vertientes del Golfo de México y del Pacífico, en regiones cafetaleras donde los campesinos han creado agroecosistemas diversificados que incluyen la coexistencia de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas con el cultivo de café, siendo éstos, importantes fragmentos de la vegetación nativa (Moguel y Toledo, 2004). Se estima que en México, el 70% del café se cultiva bajo los llamados sistemas de sombra (Moguel y Toledo, 2004), en donde los productores manejan un estrato arbóreo de cobijo, dejando de 40 a 80% de cobertura como sombra para el cultivo (Moguel y Toledo, 1996), lo cual refleja el desarrollo de una agroforestería incipiente, que se fundamenta en saberes campesinos (Budowski, 1993); sin embargo, aún es limitado el conocimiento sobre el manejo silvícola de los árboles y su aprovechamiento (Muschler, 1999), lo que ha generado diferentes sistemas de producción, en las regiones cafetaleras de la Zona Centro del Estado de Veracruz (ZCEV). Los sistemas más frecuentes, según lo reportado por diferentes autores (Escamilla y Díaz, 2002; Hernández Martínez, 2008), son:

- Sistemas complejos: policultivo tradicional en sus variantes de tradicional o comercial; el primero complejo y el segundo simple en cuanto al número de especies que los conforman. Éstos contienen elementos de la vegetación primaria, sucesión secundaria y árboles introducidos, además de especies agrícolas, sobre todo frutales arbóreos y plátanos.
- El “natural o de montaña”, en el cual se aprovecha el estrato arbóreo de la vegetación nativa para plantar en el sotobosque tanto café como palma camedor (*Chamaedorea* spp.).
- El “especializado”, es practicado por medianos y grandes productores, donde el estrato de sombreado es monoespecífico, a base de leguminosas del género *Inga*.

El enriquecimiento del estrato de sombreado con especies valoradas altamente por los cafeticultores ha sido una alternativa para imprimir rentabilidad al cafetal (Quintanar, 2010). Por ello, la comprensión del agroecosistema café y su diversidad biológica asociada en la productividad de la finca, es una tarea imperante para la ciencia agronómica (Perfecto *et al*., 2005; Pagiola y Ruthenberg, 2006).

Los cafetales como sitios de conservación de biodiversidad. El cafetal bajo sombra es característico de la cafeticultura mexicana y tiene sus raíces en la acentuada complejidad ecológica y cultural, así como en las intrincadas condiciones socioeconómicas en las que operan los productores, siendo uno de los sistemas productivos más amigables con el entorno (Guhl, 2008); aun cuando la introducción del cultivo de café ha alterado los ecosistemas originales como las selvas entre otros, éste no ha sido tan perturbador como otras formas de uso del suelo (Ortiz y Pineda, 2008). El agroecosistema café con vegetación compleja (diversos estratos de vegetación y diversas especies vegetales), ayuda a mantener una diversidad de especies similar a la encontrada en bosques poco perturbados (Tejada-Cruz y Sutherland, 2004), incluso los que se ubican a distancias grandes de los fragmentos de bosque remanentes (Moorhead *et al*., 2010). Sin embargo, a pesar de su importancia en la conservación de la biodiversidad, los cafetales de sombra en México están bajo mucha presión por el aumento de productividad o bien para ser transformados a otros usos de suelo (Gordon *et al*., 2007; Perfecto *et al*., 2007; Guhl, 2008; Rojas *et al*., 2012).

El patrimonio biológico de México hace que sea considerado como un país megadiverso, que ocupa el quinto lugar a nivel mundial en riqueza de plantas vasculares (Villaseñor, 2004); sin embargo, la pérdida de bosques y selvas es alarmante, siendo estas últimas, los ecosistemas que han sufrido las mayores afectaciones, tanto por la extensión eliminada (42% de la original), como por superficie degradada (sólo 36% son primarias) (SEMARNAT, 2013). En el estado de Veracruz se han delimitado áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad, las cuales coinciden con la distribución del cultivo del café en la zona de ecotono entre los sistemas tropical y templado (Challenger, 1998); tal es el caso de la Sierra de Atoyac, con condiciones agroclimáticas aptas para el cultivo de cafés de alta calidad bajo sombra (Hernández-Martínez *et al*., 2009), considerados actualmente de enorme relevancia ecológica, pues contribuyen a

conservar la biodiversidad y a proveer servicios ambientales (Moguel y Toledo, 1999; Perfecto y Armbrecht, 2003; Giovannucci y Juárez, 2006).

Estructura de la vegetación. La estructura es la manera en que están organizados los componentes genéticos y demográficos de las poblaciones, así como la fisonomía del paisaje (Noss, 1990). En un ecosistema forestal, los árboles son el elemento más relevante de su estructura, por lo que la transformación de paisajes en las regiones tropicales y la intensificación de los monocultivos ha sido una de las principales causas de pérdida de heterogeneidad y estructura de los ecosistemas (Guhl, 2004; Rudel *et al*., 2009; Gibbs *et al*., 2010). Para lograr caracterizar la estructura es necesario definir su ordenamiento vertical (identificación de estratos, altura y cobertura) y horizontal (densidad, abundancia, diámetro normal y cobertura, entre otros); sin embargo, el conocimiento aún es escaso y fragmentado pues proviene de algunas pocas comunidades relativamente bien estudiadas (Gallardo *et al*., 2005).

Diversidad de especies. La biodiversidad es un concepto cuyo cálculo no tiene unidad de medida universal, ni puede evaluarse con un único atributo (Moreno, 2001). Existe una amplia variedad de índices que intentan evaluar la diversidad de especies dentro de las comunidades, al relacionar la riqueza específica (número de especies) con la equidad, dominancia y abundancia de los individuos. De acuerdo con Moreno (2001), es posible dividir los índices en dos grupos principales en función de las variables biológicas que miden: a) los de cuantificación del número de especies presentes (riqueza específica) (p.e. Margalef, Menhinick, métodos como la rarefacción, funciones de acumulación de especies y métodos no paramétricos como Chao2, Jacknife y Bootstrap), y b) los que consideran la estructura de la comunidad, que a su vez pueden dividirse según se basen en medir el grado de dominancia (Simpson, Berger-Parker, McIntoch) y los que miden equidad de la comunidad (Shannon-Wiener, Pielou, Brillouin).

El término diversidad comprende diferentes escalas espaciales, temporales y biológicas; Whittaker (1972) identificó distintos componentes de la diversidad biológica que corresponden a diferentes niveles de escala espacial y los designó como diversidades alfa, beta y gamma. Esta forma de analizar la biodiversidad resulta muy conveniente en el contexto actual, ante la acelerada transformación de los ecosistemas naturales y el paisaje. El registro sistemático del efecto de los

cambios a nivel de paisaje, requiere contar con información de la diversidad biológica en comunidades naturales y modificadas (diversidad alfa) y también de la tasa de cambio en la biodiversidad entre distintas comunidades (diversidad beta), para conocer su contribución al nivel regional (diversidad gamma) y así, diseñar estrategias de conservación y llevar a cabo acciones concretas a escala local. Asimismo, existen índices de semejanza utilizados en ecología vegetal para su ordenamiento, y de esta forma establecer gradientes para la correlación con factores ambientales. El cálculo de la asociación entre especies ha permitido caracterizar de forma cuantitativa las interacciones que tienen éstas dentro de una comunidad, desarrollando así una herramienta fundamental para la investigación de dichas unidades ecológicas (Rodríguez-Salazar *et al*., 2001).

6.3. Metodología para la caracterización de la estructura y diversidad de SAF-Café

Ubicación geográfica del área de estudio. La sierra de Atoyac se localiza en la Zona Centro de Veracruz, en la región cafetalera de Córdoba, entre las coordenadas 18° 55'' a 19° 00' de latitud norte y 96° 54' a 96° 49' de longitud oeste. Abarca los municipios de Atoyac, Amatlán de los Reyes y Córdoba, los cuales presentan elevaciones de 298 hasta 1,800 m; precipitación anual de 1,930 mm y temperatura media anual de 21.3°C. El tipo de clima es (A)C(m)w”o, y la vegetación se clasifica como selva mediana subperennifolia (Miranda y Hernández X, 1963). Se ubica dentro de la provincia geomorfológica de la Sierra Madre del Sur, en la subprovincia de sierras orientales de Oaxaca (Lugo y Córdova, 1992). El área de estudio se encuentra en la cuenca del Papaloapan, formando parte del río Jamapa, y tiene como principal afluente al río Atoyac, que nace en este sistema montañoso (Figura 6.1).

Diseño del muestreo de agroecositemas y vegetación natural. En dos franjas altitudinales (600 a 900 m y 900 a 1,200 m) se localizaron los cuatro sistemas a estudiar: selva mediana subperennifolia (SM), rusticano (RU), policultivo complejo (PC) y policultivo simple (PS), en los cuales se establecieron aleatoriamente tres unidades de muestreo (UM) para cada franja altitudinal y en cada sistema mencionado, obteniendo un total de 24 UM. La superficie de cada

UM fue de 600 m^2 (30 x 20 m), que se dividió en seis cuadros de 100 m^2 (10 x 10 m) en donde se cuantificaron todos los árboles con un diámetro normal (DN: 1.3 m sobre el suelo) ≥2.5 cm. A cada individuo se le registraron las siguientes variables: altura total (con flexómetro en individuos ≤8 m y con clisímetro para aquellos ≥8 m), diámetro mayor y menor de proyección de copa (con cinta métrica), DN (con cinta diamétrica) y área basal.

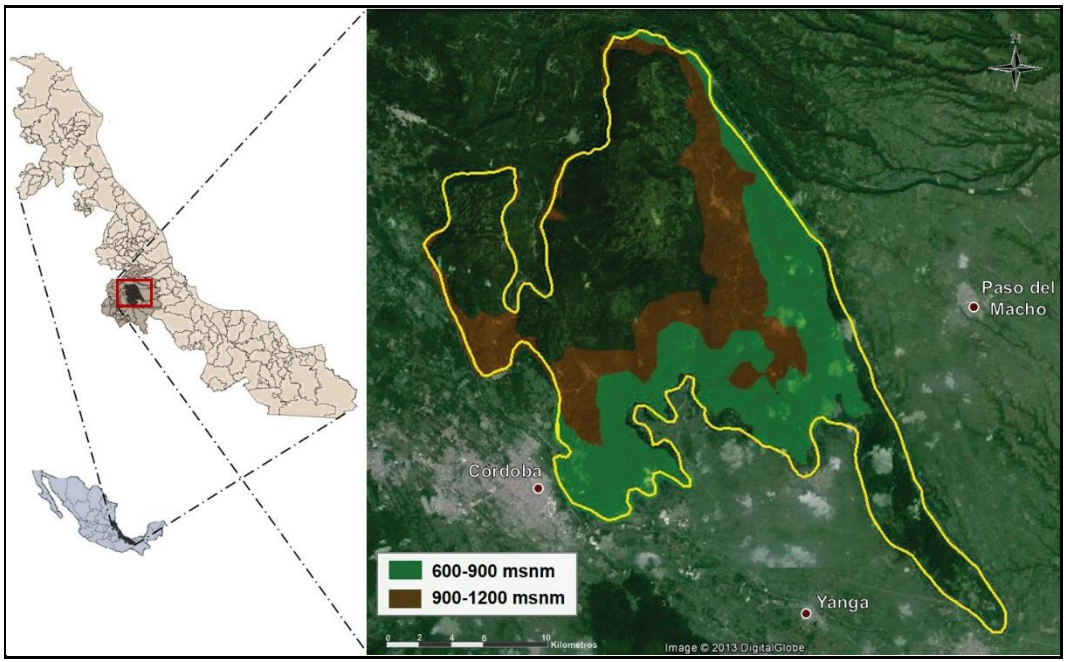


Figura 6.1. Delimitación del espacio geográfico donde se ubica la Sierra de Atoyac.

Asimismo, a cada individuo se le determinó su identidad taxonómica con base en los trabajos realizados anteriormente (Gómez-Pompa, 1978; Acevedo, 1988; Pennington y Sarukhán, 2005); además, se recolectaron especímenes por triplicado, los cuales fueron procesados y herborizados (Lot y Chiang, 1986), para cotejarlos en los herbarios XAL (Instituto de Ecología A. C.) y CHAPA (Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo), quedando depositados en este último.

Análisis de la estructura y diversidad arbórea. Los atributos estructurales como: área basal, densidad, altura promedio y cobertura se analizaron con una prueba de Shapiro Wilk para determinar si se ajustaban a una distribución

normal. En casos necesarios, los datos fueron transformados logarítmicamente para ajuste a normalidad. Posteriormente, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) multifactorial considerando la franja altitudinal, sistema y UM; cuando se encontraron diferencias significativas ($P<0.05$) se realizaron comparaciones de medias mediante la prueba de Tukey Honest Significant Difference (HSD). Dichos análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa Minitab versión 17 (Mckenzie *et al*., 1997).

Las distribuciones de frecuencias de individuos por clase diamétrica (5 cm de amplitud) se obtuvieron basándose en Zarco *et al*. (2010), la delimitación de estratos verticales se llevó a cabo a partir de las inflexiones de una curva generada entre el número de individuos y su altura (López *et al*., 2012), y la curva de acumulación de especies se elaboró al graficar el número de especies encontradas respecto de la superficie muestreada (Greig-Smith, 1983).

Dos índices de valoración estructural fueron calculados para jerarquizar la importancia ecológica de las especies de manera horizontal y vertical en cada UM y en cada sistema:

-**Índice de valor de importancia**: IVI = densidad relativa + dominancia relativa + frecuencia relativa (Curtis y McIntosh, 1951; Villavicencio y Valdez, 2003).

-**Índice de valor forestal**: IVF = DN relativo + altura relativa + cobertura relativa (Corella *et al*., 2001; López *et al*., 2012; Carreón-Santos y Valdez-Hernández, 2014).

Para comparar la diversidad entre sistemas y UM se calculó el índice de Shannon-Wiener ($H' = -\Sigma(p_i \ln p_i)$, donde pi es la proporción de individuos de la i-ésima especie; del mismo modo, para contrastar la diversidad con otros estudios, se obtuvo el índice alfa de Fisher (α): $\{S = \alpha \ln[1 + (N / \alpha)]\}$, donde S es el número de especies, N el número de individuos y α es el alfa de Fisher. Asimismo, se evaluó la equidad de las especies ($E = H' / \ln S$) y la semejanza florística con el coeficiente de Sørensen [$Si = 2C / (A + B)$], el cual relaciona el número de especies en común (C) con la media aritmética de las especies en ambos sitios comparados (A y B) (Sørensen, 1948; Magurran, 1988; Zarco *et al*., 2010). Las diferencias significativas entre la diversidad de H´ de los sistemas estudiados, fueron investigadas al aplicar el método de Hutcheson para calcular el valor de "t" modificado (Villavicencio y Valdez, 2003; Magurran, 2004; Carreón-Santos y

Valdez-Hernández, 2014); para la diversidad alfa y equidad se utilizó una prueba de aleatoriedad por "bootstrapping" (1,000 muestras de pares al azar), la cual fue realizada por medio del programa PAST (Hammer *et al*., 2001).

Analisis multivariante. El análisis de agrupamiento (técnica multivariada para clasificación), se hizo usando el programa PC-ORD Ver. 6.0 con datos de ausencia-presencia de especies en cada UM, tomando beta flexible (β=-0.25) como método de unión de grupos (McCune y Grace, 2002) y el coeficiente de Sørensen como medida de proximidad, por ser éste de los más robustos para datos ecológicos (McCune y Mefford, 1999). Asimismo, se realizó un análisis de correspondencia canónica (programa PC-ORD Ver 6.0), utilizándose el Índice de Valor de Importancia (IVI) como atributo estructural de la vegetación para la primera matriz de datos, la cual se ajustó de acuerdo a lo sugerido por McCune y Grace (2002), donde se precisa eliminar especies raras (presencia menor al 5% del total) quedando sólo 64 especies. Además, los datos se balancearon mediante una estandarización por el máximo, al dividir el valor del atributo entre el mayor valor del mismo en la columna respectiva, esto a fin de lograr similitud de la importancia relativa de las especies en el análisis (McCune y Grace, 2002; Peck, 2010). En la segunda matriz se utilizaron cinco variables ambientales: altitud, inclinación y exposición de la pendiente, temperatura media anual, y precipitación total anual, las cuales fueron obtenidas a partir de lecturas en campo y del WorldClim Global Climate GIS database (Hijmans *et al*., 2004); las variables ambientales fueron estandarizadas mediante transformación logarítmica a fin de reducir el efecto de diferentes unidades de medida (McCune y Mefford, 1999).

6.4. Estructura arbórea en SAF-Café y una selva mediana subperennifolia

Atributos estructurales. La selva mediana presentó los valores más elevados en área basal (AB) y densidad de individuos, mientras que el sistema rusticano, los tuvo en altura, cobertura y diámetro normal (DN). Los valores más bajos respecto a densidad, área basal y cobertura fueron para el policultivo simple. La selva fue significativamente menor ($p<0.05$) respecto los SAF-Café en las variables altura y diametro (Cuadro 6.1). Los valores en área basal, densidad y altura de los SAF-

Café en el área de estudio coinciden con los reportados para sistemas similares en Veracruz (López-Gómez *et al*., 2008) y Chiapas (Peeters *et al*., 2003; Bandeira *et al*., 2005); sin embargo, de manera general en la selva mediana el valor de área basal (33.6 m^2 ha^{-1}), fue menor a los reportados en Vega de Alatorre, Ver. (38.6 m^2 ha^{-1}) (Godínez-Ibarra y López-Mata, 2002) y Papantla, Ver. (76.7 m^2 ha^{-1}) (Basáñez *et al*., 2008); lo anterior puede deberse a que individuos de grandes diámetros (>35 cm), contribuyen a tener grandes áreas basales (Galloway, 2003).

CUADRO 6.1. ATRIBUTOS ESTRUCTURALES DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA EN TRES SAF-CAFÉ Y UNA SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA.

FRANJA ALTITUDINAL	SISTEMA	DENSIDAD (ind. ha^{-1})	ÁREA BASAL (m^2 ha^{-1})	COBERTURA (m^2)	ALTURA (m)	DIÁMETRO NORMAL (cm)
600-900 m	PC	928	22.89	23.75^{ab}	10.40^{a}	14.44^{ab}
	PS	111	4.55	29.89^{a}	12.92^{a}	19.83^{a}
	RU	528	21.17	24.40^{ab}	8.52^{b}	14.66^{ab}
	SM	1094	31.95	21.08^{b}	9.77^{ab}	13.38^{b}
900-1200 m	PC	428	27.47	38.53^{ab}	12.58^{ab}	21.21^{a}
	PS	261	8.66	22.03^{bc}	9.46^{bc}	15.41^{ab}
	RU	372	34.53	51.54^{a}	15.39^{a}	24.96^{a}
	SM	1372	35.28	18.07^{c}	8.91^{c}	12.36^{b}
General (600-1200 m)	PC	678	25.18	28.42^{a}	11.09^{a}	16.58^{a}
	PS	187	6.60	24.38^{ab}	10.49^{ab}	16.73^{a}
	RU	450	27.85	35.62^{a}	11.36^{a}	18.92^{a}
	SM	1234	33.62	19.41^{b}	9.29^{b}	12.81^{b}

Letras diferentes entre sistemas indican diferencias significativas (Tukey, $p<0.05$); SM=selva mediana subperennifolia; RU=rusticano; PC=policultivo complejo; PS=policultivo simple.

Estructura vertical. La vegetación arbórea en el área de estudio mostró dos estratos verticales generados por puntos de inflexión a los 10 m para SM y RU, y a los 12 m para PS y PC (Figura 6.2). Estudios similares en selvas medianas subperennifolias difieren al identificar tres estratos arbóreos (Godínez-Ibarra y López-Mata, 2002; Castillo-Campos *et al*., 2003; Basañez *et al*., 2008). Asimismo, Raintree (1990) hace referencia de un policultivo con estructura multiestrato, lo cual puede deberse a la presencia de distintas cohortes generadas por el manejo de los productores para varios usos (p. ej. frutal, maderable, ornamental) (Moguel y Toledo, 2004). En todos los sistemas el estrato inferior registró la mayor concentración de individuos, siendo el mayor en PC (68.9%) y el menor

en PS (56.7%). El sistema con mayor altura promedio fue RU (11.4 m) seguido de PC (11.1 m), PS (10.5 m) y SM (9.3 m). En el estrato superior se encontraron árboles emergentes de más de 30 m de altura, tales como: *Ficus tecolutensis* (Liebm.) Miq. y *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (SM), *Myroxylon balsamum* (L.) Harms y *Bernoullia flammea* Oliver (PC), *Cupania dentata* DC. (PS), y *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken y *Sideroxylon persimile* (Hemsl.) T. D. Penn. (RU). Las especies más representativas del estrato inferior fueron: *Myriocarpa longipes* (Liebm.), *Bauhinia* sp. y *Croton* aff *niveus* (SM), *M. longipes* y *Cnidoscolus multilobus* (Pax) (PC), *C. alliodora* y *Cedrela odorata* L. (RU) y *C. alliodora* y *Ocotea puberula* (Rich.) Nees (PS). Ambos estratos coinciden en buena cantidad de especies con lo descrito por Castillo-Campos *et al*. (2003) y Pennington y Sarukhán (2005).

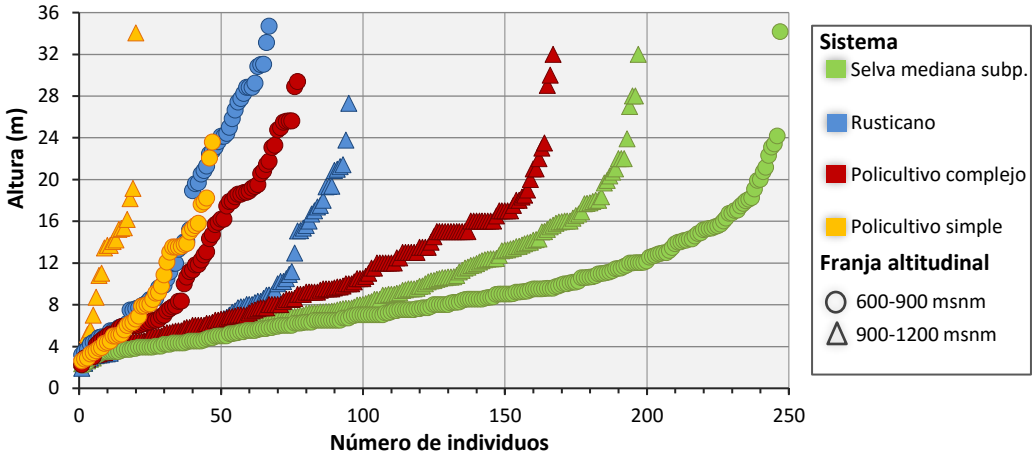


Figura 6.2. Dispersion de frecuencias de altura de árboles por franja altitudinal y sistema.

Estructura horizontal. Los sistemas SM, RU y PC presentaron individuos con los DN más grandes de hasta 133, 104 y 97 cm, respectivamente. El porcentaje acumulado de individuos en las tres primeras categorías diamétricas fue mayor en la SM (79.8%), seguida del RU (77.6%), PC (64.3%) y el PS (56.7%). Las categorías diamétricas mayores (>35cm) representan menor porcentaje en la SM (<10%), a diferencia de RU, donde éstos son alrededor del doble en porcentaje (18%). Las especies con mayor DN fueron: *Coccoloba hirtella* Lundell y *F. tecolutensis* (SM), *Sideroxylon capiri* (DC.) Cronq. (PC), *S. persimile* (Hemsl.) T. D. Penn., *Heliocarpus appendiculatus* Turcz., Cronq., y *Trichospermum mexicanum* (DC.) Baill (RU).

Analizando los sistemas por franja altitudinal se observaron dos patrones generales de estructura poblacional, de acuerdo con Bongers *et al*. (1988): a) Tipo I: presentes en SM y PC, donde se observa el mayor porcentaje de individuos en las primeras clases diamétricas, disminuyendo considerablemente conforme aumenta el tamaño de clase, lo que indica buena reproducción, establecimiento y regeneración natural. b) Tipo II: presente en mayor medida en PS y más difícil de observar en RU, con alta cantidad de individuos en las primeras e intermedias clases diamétricas, disminuyendo hacia las últimas (Figura 6.3).

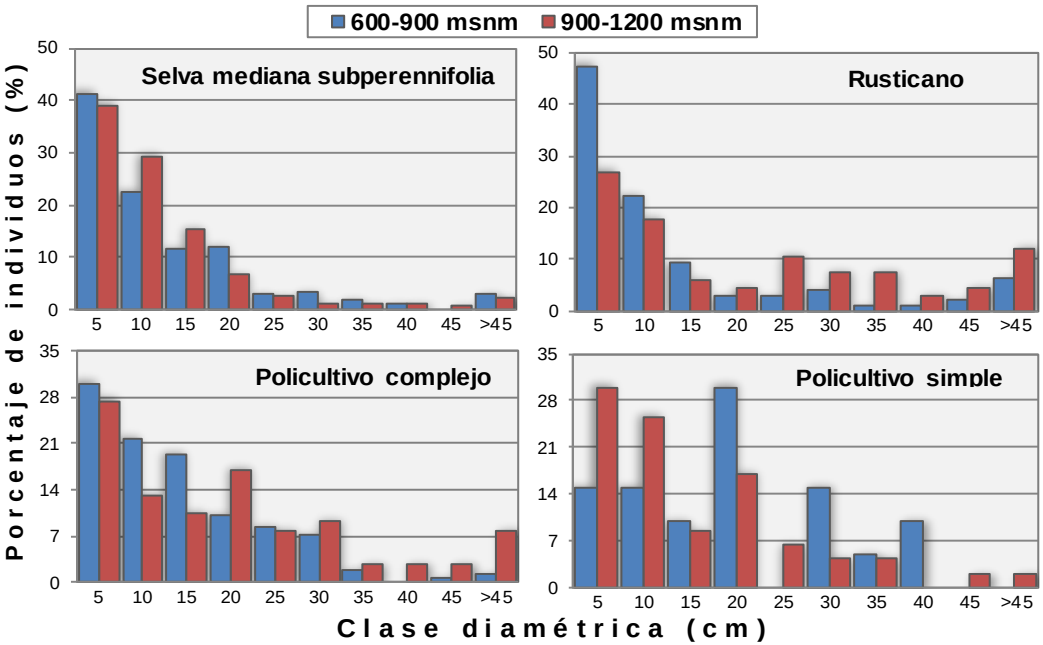


Figura 6.3. Distribución diamétrica de árboles en tres sistemas agroforestales de café y una selva mediana subperennifolia en la Sierra de Atoyac, Veracruz.

Lo anterior puede deberse a prácticas de manejo para fomentar especies de interés económico (*Citrus* spp., *Musa* sp., *Chamaedorea* sp.) en el estrato inferior (Moguel y Toledo, 1996) y de interés maderable (*C. alliodora*, *C. odorata*, *O. puberula*) o de sombreado de café (*Inga vera* Willd.), con individuos de DN grandes en el estrato superior (Bandeira *et al*., 2005). Del mismo modo, se analizaron patrones de estructura poblacional de algunas especies con mayor valor de importancia, llamando la atención, el comportamiento de *B. simaruba,*

la cual fue la única que presentó un Tipo II; el resto de las especies analizadas (*M. longipes*, *C. alliodora* y *C. dentata*) presentaron un acentuado patrón Tipo I (Anexo A).

Importancia estructural. Los índices de valor de importancia y de valor forestal fueron coincidentes en ambas franjas altitudinales en el orden de especies de mayor importancia estructural; en los SAF-Café es fácil apreciar que aquellas que generan un beneficio económico por la diversidad de productos que brindan (maderables, dendroenergéticos, alimenticio, etc.), como *C. alliodora, C. odorata, Persea schiedeana* Nees, etc. (Cuadro 6.2), son apreciadas y cultivadas por los productores de café (Bandeira *el al*., 2005; López *et al*., 2013), lo cual es coincidente con otros trabajos como el de Villavicencio y Valdez (2003) y el de Soto-Pinto *et al*. (2007). Por otra parte, en la selva mediana, *B. simaruba* y *M. longipes* fueron las especies de mayor importancia en las franjas altitudinales baja y alta respectivamente, y con base en estos resultados, son diferentes estructuralmente de los SAF-Café, tanto en las variables dendrométricas como en especies de mayor importancia.

Composición florística. De los 24 muestreos realizados se cuantificó un total de 90 taxones (917 individuos en total); 79 se determinaron a nivel de especie (842 ind.), cuatro hasta género (60 ind.), tres sólo hasta familia (9 ind.) y cuatro desconocidos (6 ind). Las especies identificadas quedaron distribuidas en 32 familias y 65 géneros. Las familias más ricas en especies (cerca del 40% del total) fueron Fabaceae con 11, Moraceae con siete, Lauraceae con seis, Euphorbiaceae y Malvaceae con cinco cada una. La presencia de familias más ricas en especies concuerda con lo reportado por Williams y López (2008) en Veracruz (Fabaceae, Moraceae, Lauraceae). La mayoría de géneros contienen pocas especies en general, los más numerosos fueron: *Coccoloba* y *Ficus* con cuatro, y *Cordia* e *Inga* con tres. Lo anterior coincide en su composición de familias botánicas con Acevedo (1988) y al nivel de géneros con Chiang (1970).

CUADRO 6.2. ESPECIES CON MAYOR VALOR DE IMPORTANCIA (IVI) Y FORESTAL (IVF) POR FRANJA ALTITUDINAL Y SISTEMA EN LA SIERRA DE ATOYAC, VERACRUZ.

SIS-TEMA	600-900 m			900-1200 m		
	ESPECIE	IVI	IVF	ESPECIE	IVI	IVF
Selva mediana subperennifolia	*Bursera simaruba*	43.4	58.6	*Myriocarpa longipes*	32.9	34.1
	Bauhinia sp.	36.7	46.2	*Alchornea latifolia*	26.1	30.8
	Spondias radlkoferi	26.1	22.6	*Coccoloba hirtella*	23.2	10.5
	Croton aff. niveus	20.3	19.6	*Miconia mexicana*	20.2	24.4
	Bernoullia flammea	19.0	14.0	*Heliocarpus donnellsmithii*	17.3	22.0
	Aphananthe monoica	17.2	20.4	*Telanthophora grandifolia*	13.3	14.7
	Ficus tecolutensis	12.8	13.2	*Ficus tecolutensis*	13.3	13.5
	Brosimum alicastrum	11.8	6.9	*Cecropia obtusifolia*	11.3	14.9
	25 especies restantes	112.7	98.5	35 especies restantes	142.4	135.1
Policultivo complejo	*Cordia alliodora*	37.0	43.8	*Cordia alliodora*	35.7	38.9
	Myriocarpa longipes	23.7	19.9	*Cnidoscolus multilobus*	23.9	14.5
	Cupania dentata	17.2	17.1	*Cupania dentata*	23.9	28.7
	Bernoullia flammea	15.6	8.1	*Persea schiedeana*	21.8	21.7
	Bauhinia sp.	12.3	21.8	*Juglans pyriformis*	20.8	21.6
	Croton draco	12.1	17.8	*Spondias radlkoferi*	19.7	21.3
	Bursera simaruba	11.9	13.8	*Sideroxylon capiri*	18.1	17.5
	43 especies restantes	170.2	157.7	18 especies restantes	136.1	135.8
Policultivo simple	*Persea schiedeana*	71.6	67.6	*Cordia alliodora*	76.3	99.8
	Cordia alliodora	70.0	78.4	*Ocotea puberula*	51.3	58.0
	Cupania dentata	48.3	51.5	*Persea schiedeana*	46.4	46.1
	Inga vera	44.2	54.4	*Heliocarpus donnellsmithii*	25.9	21.7
	Citrus sinensis	25.2	18.2	*Trema micrantha*	12.4	13.3
	Mangifera indica	18.3	19.1	*Mangifera indica*	11.9	14.5
	Cedrela odorata	11.2	5.3	*Juglans pyriformis*	9.0	12.5
	0 especies restantes	0.0	0.0	9 especies restantes	66.8	34.1
Rusticano	*Cordia alliodora*	64.1	73.1	*Cordia alliodora*	46.9	62.2
	Trichospermum mexicanum	45.5	48.8	*Cupania dentata*	37.3	39.8
	Cedrela odorata	29.9	32.4	*Sideroxylon persimile*	31.7	34.0
	Spondias radlkoferi	19.3	15.1	*Lonchocarpus guatemalensis*	25.1	24.7
	Cupania dentata	16.4	12.7	*Heliocarpus appendiculatus*	22.1	23.3
	Bursera simaruba	16.3	9.5	*Citrus sinensis*	19.1	14.5
	Rollinia membranacea	13.9	18.9	*Cedrela odorata*	17.1	6.7
	14 especies restantes	94.6	89.5	9 especies restantes	59.2	58.0

6.5. Diversidad de especies en tres SAF-Café y una selva mediana subperennifolia

Riqueza de especies. La selva mediana subperennifolia (SM) acumuló 65 especies, mientras que los tres sistemas agroforestales de café (SAF-Café) acumularon en conjunto 73 especies: policultivo complejo (PC) con 61, rusticano (RU) con 32 y policultivo simple (PS) con 18 (Figura 6.4).

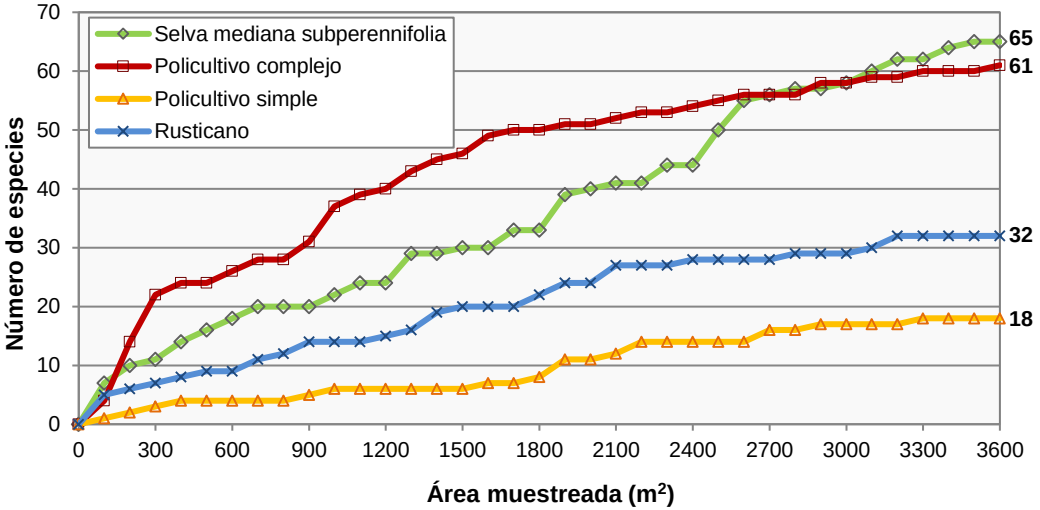


Figura 6.4. Curvas especies-área de tres sistemas agroforestales de café y una selva mediana subperennifolia en la Sierra de Atoyac, Veracruz.

En la franja altitudinal superior (900-1200 m) la riqueza de especies fue mayor en la SM, al superar por 18 especies a PC y en la franja inferior (600-900 m), fue lo contrario, donde el PC superó por 17 especies más a SM. En los SAF-Café, el policultivo complejo (PC) fue el más rico en especies, confirmando lo descrito por López-Gómez *et al*. (2008) mediante técnicas de rarefacción. Las especies comunes entre sistemas en ambas franjas altitudinales fueron: *B. simaruba*, *C. odorata*, *Cinnamomum effusum* (Meisn.) Kosterm., *C. alliodora*, *C. dentata, I. vera, O. puberula* y *Urera caracasana* (Jacq.) Gaudich. ex Griseb. Por el contrario, las especies exclusivas por sistema se muestran en el Anexo B. Cabe mencionar que en los SAF-Café se encontraron especies catalogadas como amenazadas dentro de la NOM-059, tales como: *Astronium graveolens* Jacq. y *Spondias radlkoferi* J. D. Smith.

Índices de diversidad. Las pruebas de "t" modificada por Hutcheson y las de permutación por bootstrapping, no arrojaron diferencias significativas ($p>0.05$; t calculada >t tabla) entre los sistemas PC y SM de manera general; sin embargo, los anteriores arrojaron valores significativamente mayores ($p<0.05$) que RU y PS (Cuadro 6.3), lo que reafirma la semejanza entre cafetales complejos y la vegetación original, así como su importancia en la conservación de la biodiversidad (Perfecto *et al*., 1996; Moguel y Toledo, 1999). El índice de Shannon obtenido en la SM (H'=3.5) fue superior en comparación con otros trabajos similares; H'=3.3 (Godínez-Ibarra y López-Mata, 2002) y H'=2.1 (Basáñez *et al*., 2008).

CUADRO 6.3. RIQUEZA E ÍNDICES DE DIVERSIDAD DE LOS SISTEMAS ESTUDIADOS EN DOS FRANJAS ALTITUDINALES DE LA SIERRA DE ATOYAC, VERACRUZ.

FRANJA ALTITUDINAL	SISTEMA	RIQUEZA	SHANNON H´	VARIANZA	α FISHER	EQUIDAD	SIMPSON
600-900 m	SM	33	2.91^{b}	0.00590	11.34^{b}	0.83^{a}	0.92^{b}
	PC	50	3.40^{a}	0.00726	24.18^{a}	0.87^{a}	0.95^{a}
	PS	6	1.88^{d}	0.02746	4.94^{b}	0.90^{a}	0.82^{c}
	RU	22	2.47^{c}	0.01546	8.98^{b}	0.80^{a}	0.85^{c}
900-1200 m	SM	43	3.06^{a}	0.00531	15.05^{ab}	0.81^{c}	0.93^{a}
	PC	25	2.93^{a}	0.00943	12.86^{a}	0.91^{a}	0.93^{a}
	PS	16	2.31^{b}	0.02388	8.55^{ab}	0.83^{bc}	0.85^{b}
	RU	17	2.54^{b}	0.00896	7.34^{b}	0.90^{ab}	0.90^{ab}
General	SM	65	3.56^{a}	0.00258	20.98^{a}	0.85^{ab}	0.96^{a}
	PC	61	3.58^{a}	0.00507	26.11^{a}	0.87^{a}	0.95^{a}
	PS	18	2.39^{b}	0.01652	8.07^{ab}	0.83^{ab}	0.86^{b}
	RU	32	2.81^{c}	0.00899	11.95^{c}	0.81^{b}	0.89^{b}

Letras diferentes entre sistemas indican diferencias significativas ($p<0.05$); SM=selva mediana subperennifolia; RU=rusticano; PC=policultivo complejo; PS=policultivo simple.

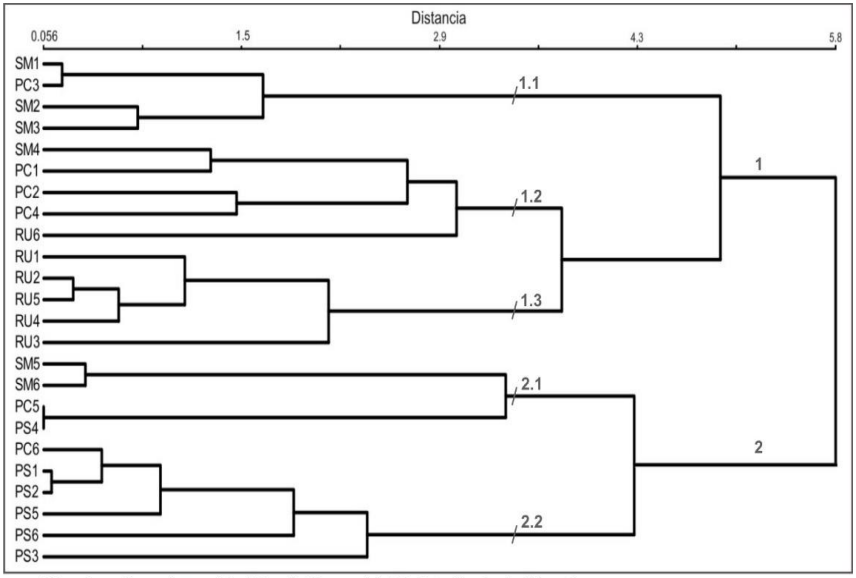
Semejanza florística. La SM y el PC presentaron la semejanza florística mayor (70%) con 44 especies compartidas. Las combinaciones SM-PS, PC-PS o PS-RU fueron las que menores valores obtuvieron, debido al bajo número de especies compartidas. Entre los SAF-Café presentaron valores bajos de semejanza en la franja altitudinal inferior, no así en la franja superior, con valores de entre el 36 al 50% (Cuadro 6.4).

CUADRO 6.4. SEMEJANZA FLORÍSTICA ENTRE SISTEMAS ANALIZADOS.

SISTEMAS COMPARADOS		ESPECIES			COEFICIENTE DE SEMEJANZA	
A	B	En A	En B	Compartidas	SØRENSEN (Si)	JACCARD (Cj)
SM	PC	65	61	44	0.698	0.537
SM	PS	65	18	14	0.337	0.230
SM	RU	65	32	21	0.432	0.276
PC	PS	61	18	15	0.379	0.234
PC	RU	61	32	23	0.494	0.329
PS	RU	18	32	9	0.360	0.220

SM= Selva mediana subperennifolia; PC= Policultivo complejo; PS=Policultivo sencillo; RU= Rusticano.

Análisis multivariante. El dendrograma presentó un porcentaje de encadenamiento bajo (4.81%), lo que indica buena formación de grupos. Se observan dos grupos principales (1 y 2) que se diferencian por la franja altitudinal a la que pertenecen la mayoría de las UM. Dentro de estos se observan dos tipos de subgrupos: los homogéneos (1.3, 2.2), representados principalmente por unidades de muestreo de RU y PS, y los heterogéneos (1.1, 1.2, 2.1), con UM combinadas de la SM y PC principalmente, lo que describe la semejanza florística entre ellos (Figura 6.5).



SM= selva mediana subperennifolia; PC= policultivo complejo; PS= Policultivo simple; RU= rusticano

Figura 6.5. Dendrograma de semejanza florística entre las 24 unidades de muestreo agrupadas con base en el coeficiente de Sørensen por el método de beta flexible.

Las pruebas de permutación de Monte Carlo en el análisis de correspondencia canónica resultaron significativas (p=0.02) entre la relación especies-ambiente, y los ejes de ordenación; estos últimos explicaron el 20.3% de la variación de los datos (Cuadro 6.5). Las variables ambientales más importantes fueron: altitud (eje 1; -0.903), exposición del terreno y precipitación media anual (eje 2; 0.485 y -0.497 respectivamente).

CUADRO 6.5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LOS TRES PRIMEROS EJES DE LA ORDENACIÓN.

VARIABLES	EJE 1	EJE 2	EJE 3
Raíces características	0.559	0.471	0.345
Varianza acumulada de las especies:	8.2	15.2	20.3
Correlación especies-factores ambientales	0.959	0.913	0.911
Correlación factores ambientales-ejes:			
Altitud	-0.903	-0.369	-0.063
Pendiente	0.059	0.446	-0.865
Exposición del terreno (Exposi)	0.172	-0.497	-0.841
Temperatura media anual (TMA)	0.490	-0.397	0.037
Precipitación total anual (PTA)	-0.414	0.485	-0.098

El análisis de clasificación mostró la semejanza entre los sistemas de PC y SM, lo que apoya la afirmación de que los SAF-Café (policultivo complejo) tienen potencial en la conservación de la diversidad de especies arbóreas (Gordon *et al*., 2003), ya que a pesar de que la altitud fue la variable ambiental de mayor influencia en la composición florística, la semejanza entre los sistemas mencionados está presente tal como lo afirma Hernandéz-Martínez (2008) mediante técnicas de ordenación, lo que reafirma la importancia de estudios para la caracterización de los SAF-Café.

6.6. Síntesis reflexiva

Los bosques tropicales han sido de los ecosistemas más reducidos por el cambio de uso de suelo; sin embargo, algunos SAF-Café toman importancia actualmente por su semejanza con los ecosistemas que reemplazaron y su capacidad para conservar en gran medida especies de la vegetación original. Por esta razón, la caracterización de la estructura y diversidad representa la base

para diseñar estrategias de conservación, así como delimitación de zonas prioritarias de conservación.

Agradecimientos

El primer autor agradece al CONACyT por la beca otorgada para estudios de maestría y a la línea prioritaria de investigación del Colegio de Postgraduados.

Literatura citada

Acevedo, R. R. 1988. La vegetación en la Sierra de Atoyac, Veracruz. México. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México. 102 p.

Bandeira, F. P., C. Martorell, J. A. Meave and J. Caballero. 2005. The role of rustic coffee plantations in the conservation of wild tree diversity in the Chinantec region of Mexico. Biodiversity and Conservation 14(5):1225-1240.

Basáñez, A. J., J. L. Alanís y E. Badillo. 2008. Composición florística y estructura arbórea de la selva mediana subperennifolia del ejido "El Remolino", Papantla, Veracruz. Avances en Investigación Agropecuaria 12(2):3-21.

Beer, J., R. Muschler, D. Kass and E. Somarriba. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. Agroforestry Systems 53(38):139-164.

Bishop, J. y N. Landell-Mills. 2003. Los servicios ambientales de los bosques: información general. p. 43-75. *In:* Pagiola, S., J. Bishop y N. Landell-Mills (eds.). La Venta de Servicios Ambientales Forestales: Mecanismos Basados en el Mercado para la Conservación y el Desarrollo. Instituto Nacional de Ecología. (INE). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México.

Bongers, F., J. Popma, J. Meave del Castillo and J. Carabias. 1988. Structure and floristic composition of the lowland rain forest of Los Tuxtlas, México. Vegetatio 74(1):55-80.

Budowski, G. 1993. Agroforestería: una disciplina basada en el conocimiento tradicional. Revista Forestal Centroamericana 2(3):14-18.

Carreón-Santos, R. J. y J. I. Valdez-Hernández. 2014. Estructura y diversidad arbórea de vegetación secundaria derivada de una selva mediana subperennifolia en Quintana Roo. Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente 20(1):119-130.

Castillo-Campos, G., R. Robles G. y M. E. Medina A. 2003. Flora y vegetación de la Sierra Cruz Tetela, Veracruz, México. Polibotánica 15:41-87.

Castillo-Campos, G., S. Avendaño Reyes y M. E. Medina A. 2011. Flora y vegetación. p 163-180. *In:* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (eds.). La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Gobierno del Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana. Instituto de Ecología, A. C. México, D. F.

Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro. CONABIO. UNAM. Agrupación Sierra Madre S. C. México. 847 p.

Chiang, C. F. 1970. La vegetación de Córdoba, Ver. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 51 p.

Corella, J. F., J. I. Valdez H., V. M. Cetina A., F. V. González C., A. Trinidad S. y J. R. Aguirre R. 2001. Estructura forestal de un bosque de mangles en el noreste del estado de Tabasco, México. Ciencia Forestal en México 26(90):73-102.

Curtis, J. T. and R. P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. Ecology 32(3):476-496.

Ellis, E. A., M. Martínez B y R. Monroy I. 2011. Focos rojos para la conservación de la biodiversidad. p 351-368. *In:* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (eds.). La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Gobierno del Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana. Instituto de Ecología, A. C. México, D. F.

Escamilla, P. E. y S. Díaz C. 2002. Sistemas de cultivo de café en México. Universidad Autónoma Chapingo. CRUO-Huatusco/CENIDERCAFÉ. Fundación Produce Veracruz, A. C. Huatusco, Ver., México. 57 p.

Gallardo, C. J. A., J. A. Meave y E. A. Pérez G. 2005. Estructura, composición y diversidad de la Selva Baja Caducifolia del Cerro Verde de Nizanda, Oax., México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 76:19-35.

Galloway, G. 2003. Plantaciones forestales de pequeña escala. p 243-282. *In:* Cordero, J. y D. Boshier (eds.). Árboles de Centroamérica: un Manual para Extensionistas. Oxford Forestry Institute. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

Gibbs, H. K., A. S. Ruesch, F. Achard, M. K. Clayton, P. Holmgren, N. Ramankutty and J. A. Foley. 2010. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. Proceedings of the National Academy of Sciences 107:16732-16737.

Giovannucci, D. y R. Juárez C. 2006. Análisis prospectivo de política cafetalera. Proyecto "Evaluación alianza para el campo 2005". FAO-México. México, D. F. 86 p.

Godínez-Ibarra, O. y L. López-Mata. 2002. Estructura, composición, riqueza y diversidad de árboles en tres muestras de selva mediana subperennifolia. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica 73(2):283-314.

Gómez-Pompa, A. 1978. Ecología de la vegetación del estado de Veracruz. Continental. México. 75 p.

Gordon, C., R. Manson, J. Sundberg and A. Cruz-Angón. 2007. Biodiversity, profitability, and vegetation structure in coffee agroecosystems of central Veracruz, México. Agriculture, Ecosystems and Environment 118:256-266.

Gordon, J. E., W. D. Hawthorne, G. Sandoval and A. J. Barrance. 2003. Trees and farming in the dry zone of southern Honduras II: the potential for tree diversity conservation. Agroforestry Systems 59(2):107-117.

Greig-Smith, P. 1983. Quantitative plant ecology. 3a ed. University of California Press. Berkeley, CA, USA. 347 p.

Guhl, A. 2004. Café y cambio de paisaje en la zona cafetera colombiana entre 1970 y 1997. Cenicafé 55:29-44.

Guhl, A. 2008. Coffee production intensification and landscape change in Colombia, 1970–2002. p. 93-116. *In:* Millington, A. and W. Jepson W. (eds.). Land-Change Science in the Tropics: Changing Agricultural Landscapes. Springer, Boston, MS, USA.

Halffter, G. 1998. A strategy for measuring landscape biodiversity. Biology International 36:3-17.

Hammer, Ø., D. A. T. Harper and P. D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica 4(1):1-9.

Hernández-Martínez, G. 2008. Clasificación agroecológica. p 15-34. *In*: Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Hernández-Martínez, G., R. Manson y H. A. Contreras H. 2009. Quantitative classification of coffee agroecosystems spanning a range of production intensities in central Veracruz, Mexico. Agriculture, Ecosystems and Environment 134:89–98.

Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones and A. Jarvis. 2004. The WorldClim interpolated global terrestrial climate surfaces. Version 1.3 computer program available at http://biogeo.berkeley.edu/ [consultado el 20 de febrero de 2013].

Llorente-Bousquets, J. y S. Ocegueda. 2008. Estado del conocimiento de la biota. p. 283-322. *In:* Soberón, J., G. Halffter y J. Llorente-Bousquets (eds.). Capital Natural de México. Volumen I: Conocimiento Actual de la Biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

López-Gómez, A. M., G. Williams-Linera and R. H. Manson. 2008. Tree species diversity and vegetation structure in shade coffee farms in Veracruz, Mexico. Agriculture, Ecosystems and Environment 124(3-4):160-172.

López, M. R., J. M. P. Vázquez A., R. Martínez V. y M. A. López R. 2013. Rentabilidad de fincas de café. p. 423-460. *In*: López, M. R., G. Díaz P. y A. Zamarripa C. (eds.). El Sistema Producto Café en México: Problemaica y Tecnología de Producción. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México.

López, T. J. F., J. I. Valdez H., M. A. Pérez F. y V. M. Cetina A. 2012. Composición y estructura arbórea de un bosque tropical estacionalmente seco en la Reserva de la Biósfera la Sepultura, Chiapas. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 3(12):43-56.

Lot, A. y F. Chiang. 1986. Manual de herbario: administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos. Consejo Nacional de la Flora de México. México D. F. 142 p.

Lugo, H. J. y F. C. Córdova. 1992. Regionalización geomorfológica de la república mexicana. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. 25:25-63.

Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, USA. 179 p.

Magurran, A. E. 2004. Measuring biological diversity. Blackwell Science. Oxford, NY, USA. 256 p.

Manson, R. H., A. Contreras y F. López-Barrera. 2008. Estudios de la biodiversidad en cafetales. p. 1-14. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecologia. Instituto Nacional de Ecología. México D. F.

Martínez, M. A., V. Evangelista, F. Basurto, M. Mendoza y A. Cruz-Rivas. 2007. Flora útil de los cafetales en la Sierra Norte de Puebla, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 78(1):15-40.

McCune, B. and J. B. Grace. 2002. Analysis of ecological communities. MjM Software Design. Gleneden Beach, OR, USA. 300 p.

McCune, B. and M. J. Mefford. 1999. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data. Version 4.0 MjM Software Design. Gleneden Beach, OR, USA. 237 p.

Mckenzie, J., R. L. Shaefer and E. Farber. 1997. The student edition of minitab for windows, statistical software. Adapted for education. Addison Wesley Publishing Company. Menlo Park, CA, USA. 622 p.

Méndez, V. E., S. R. Gliessman and G. S. Gilbert. 2007. Tree biodiversity in farmer cooperatives of a shade coffee landscape western El Salvador. Agriculture, Ecosystems and Environment 119(1-2):145-159.

Miranda, F. y E. Hernández X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Boletín de la Sociedad Botánica de México 28:29-79.

Moguel, P. and V. M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. Conservation Biology 13(1):11-21.

Moguel, P. y V. M. Toledo. 2004. Conservar produciendo: biodiversidad, café orgánico y jardines productivos. Biodiversitas 55:1-7.

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

Moorhead, L. C., S. M. Philpott and P. Bichier. 2010. Epiphyte biodiversity in the coffee agricultural matrix: Canopy stratification and distance from forest fragments. Conservation Biology 24(3):737-746.

Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T- Manuales y Tesis SEA. Volumen 1. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América latina y el Caribe-UNESCO (ORCYT-UNESCO). Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA). Zaragoza, España. 84 p.

Muschler, R. G. 1999. Árboles en cafetales. Proyecto agroforestal. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Cooperación Técnica Alemana (GTZ). Materiales de enseñanza No. 45. Turrialba, Costa Rica. 139 p.

Noss, R. F. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. Conservation Biology 4:355-364.

Ortiz, C. G. y M. R. Pineda L. 2008. Las fincas de café: sitios de conservación *in situ* de biodiversidad. p. 231-250. *In*: Díaz-Fleischer, F., J. Galindo-González y L. R. Sanchez-Velázquez (eds.). Ecología, Manejo y Conservación de los Ecosistemas de Montaña en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Pagiola, S. y I. M. Ruthenberg. 2006. La venta de biodiversidad en una taza de café: el café de sombra y la conservación forestal en Mesoamérica. p. 207-240. *In:* Pagiola, S., J. Bishop y N. Landell-Mills (eds.). La Venta de los Servicios Ambientales Forestales. Instituto Nacional de Ecología. Ciudad de México, México.

Peck, J. E. 2010. Multivariate analysis for community ecologists: Step by step using PC-ORD. MjM software design. Gleneden Beach, OR, USA.

Peeters, L. Y. K., L. Soto-Pinto, H. Perales, G. Montoya, and M. Ishiki. 2003. Coffee production, timber and firewood in traditional and Inga-shaded plantations in Southern Mexico. Agriculture, Ecosystems and Environment 95(2-3):481-493.

Pennington, T. D. y J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. 3a ed. Ediciones Científicas Universitarias. UNAM. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 523 p.

Perfecto, I., J. Vandermeer, A. Mas and L. Soto-Pinto. 2005. Biodiversity, yield and shade coffee certification. Ecological Economics 54:435-446.

Perfecto, I. and I. Armbrecht. 2003. The coffee agroecosystem in the neotropics: Combining ecological and economic goals. p. 159-194. *In:* Vandermeer, J. H. (ed.). Tropical Agroecosystems. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.

Perfecto, I., I. Armbrecht, S. M. Philpott, L. Soto-Pinto and T. V. Dietsch. 2007. Shaded coffee and the stability of rainforest margins in Northern Latin America. p. 225-261. *In:* Tscharntke, T., C. Leuschner, M. Zeller and E. Guhardja (eds.). Stability of Tropical Rainforest Margins. Springer. Berlin, Alemania.

Perfecto, I., R. A. Rice, R. Greenberg and M. E. Van der Voort. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. BioScience 46(8):598-608.

Pineda-López, M. del R., G. Ortiz-Ceballos y L. R. Sánchez-Velásquez. 2005. Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. Madera y Bosques 11(2):3-14.

Quintanar, O J. 2010. La sombra en el cultivo del café. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental San Martinito. Desplegable para Productores No. 15. Puebla, México.

Raintree, J. B. 1990. Theory and practice of agroforestry diagnosis and design. p. 58-97. *In:* MacDicken, K. G. and N. T. Vergara (eds.). Agroforestry: Classification and Management. John Wiley & Sons. New York, USA.

Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot and J. Fa. 1993. Biological diversity of Mexico: Origins and distribution. University Press. Oxford, NY, USA. 812 p.

Richter, A., M. A. Klein, T. Tscharntke and M. Jason. 2007. Abandonment of coffee agroforests increases insect abundance and diversity. Agroforest Systems 69(3):175-182.

Rodriguez-Salazar, M. E., S. Álvarez-Hernández y E. Bravo-Núñez. 2001. Coeficientes de asociación. 1a ed. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Plaza y Valdés. México, D.F.173 p.

Rojas, S. A., K. Hartman U. y R. Almonacid M. 2012. El impacto de la producción de café sobre la biodiversidad, la transformación del paisaje y las especies exóticas invasoras. Ambiente y Desarrollo XVI(30):93-104.

Roncal-García, S., L. Soto-Pinto, J. Castellanos-Albores, N. Ramírez-Marcial y B. de Jong. 2008. Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. Interciencia 33(3):200-206.

Rudel, T. K., R. Defries, G. P. Asner and W. F. Laurance. 2009. Changing drivers of deforestation and new opportunities for conservation. Conservation Biology 23:1396-1405.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México. 504 p.

Schroth, G., C. A. Harvey and G. Vincent. 2004. Complex agroforests: Their structure, diversity and potential role in landscape conservation. p. 227-260. *In*: G. Schroth, G., G. A. B. Fonseca, C. A. Harvey, C. Gascon, H. L. Vasconcelos and A. M. N. Izac (eds.). Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes. Island Press. Washington, DC, USA.

SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2013. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental. Edición 2012. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D. F. 361 p.

Sørensen, T. A. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociobiology based on similarity of species content and its application to analyses of vegetation in Danish commons. Kongelige Danske Videnskabernes Selskab Biologiske Skrifter 5:1-40.

Soto-Pinto, L., V. Villalvazo-López, G. Jiménez-Ferrer, N. Ramírez-Marcial, G. Montoya and F. L. Sinclair. 2007. The role of local knowledge in determining shade composition of multistrata coffee systems in Chiapas, Mexico. Biodiversity and Conservation 16(2):419-436.

Soto-Pinto, L., Y. Romero-Alvarado, J. Caballero-Nieto and G. Segura W. 2001. Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee plantations in Northern Chiapas, Mexico. Revista de Biología Tropical 49(3-4):977-987.

Tejeda-Cruz, C. and W. J. Sutherland. 2004. Bird responses to shade coffee production. Animal Conservation (2):169-179.

Toledo, V. M. and P. Moguel. 2012. Coffee and sustainability: The multiple values of traditional shaded coffee. Journal of Sustainable Agriculture 36(3):353-377.

Vázquez-Torres, M. 1998. Humedal de Alvarado: Diversidad vegetal. p. 143-168. *In*: Vázquez, T. M. (eds.). Biodiversidad y Problemática en el Humedal de Alvarado, Veracruz, México. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México.

Villaseñor, J. L. 2004. Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 75:105-135.

Villavicencio, E. L. y J. I. Valdez H. 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rustican de café en San Miguel, Veracruz, México. Agrociencia 37:413-423.

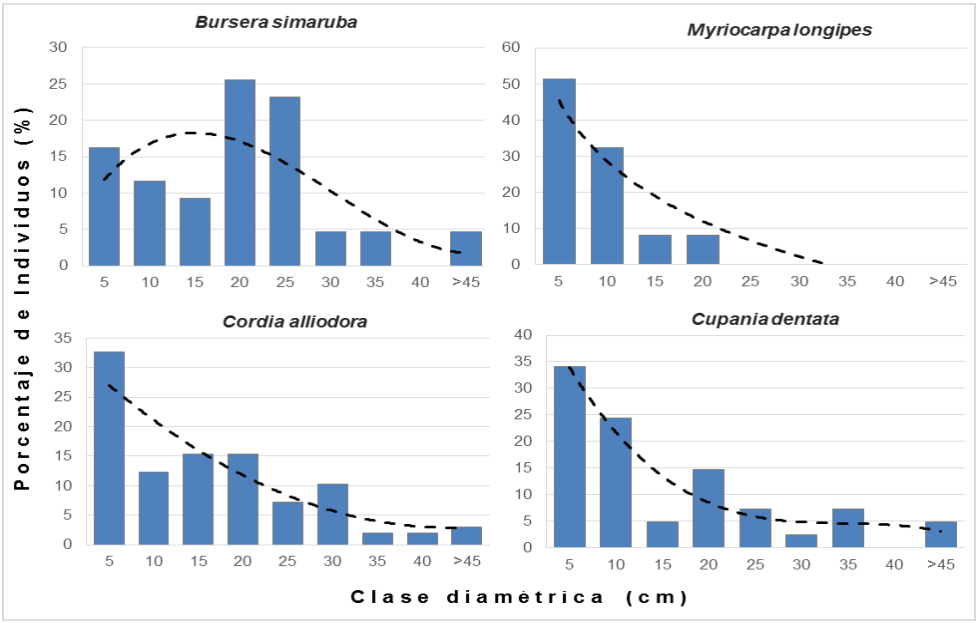
Williams, L. G. y A. López, G. 2008. Estructura y diversidad de la vegetación leñosa. p. 55-63. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Whittaker, R. H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. Taxon 21(2-3):213-251.

Zarco, E. V. M., J. I. Valdez H., G. Ángeles P. y O. Castillo A. 2010. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal de Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. Universidad y Ciencia 21(1):1-17.

Anexos

Anexo A. Patrones generales de estructura poblacional de las principales especies arbóreas en la Sierra de Atoyac.



Anexo B. Especies exclusivas por sistema en la Sierra de Atoyac.

SISTEMA	ESPECIES EXCLUSIVAS
Selva mediana sub-perennifolia	*Brosimum alicastrum* Sw., *Coccoloba* aff. *montana*, *C. hirtella* Lundell, *C.* aff *humboldtii*, *Cupania guatemalensis* (Turcz.) Radlk., *Hampea integerrima* Schltdl., *Inga jinicuil* G. Don, *Miconia mexicana* (Bonpl.) Naudin, *M. trinervia* (Sw.) D. Don ex Loudon, *Protium copal* (Schltdl. & Cham.) Engl., *Psidium sartorianum* (O. Berg) Nied., *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC., *Tapirira mexicana* Marchand, *Telanthophora grandifolia* (Less.) H. Rob. & Brettell.
Rusticano	*Chrysophyllum mexicanum* Brand. ex Standl., *Citrus aurantifolium* L., *Cordia megalantha* S.F. Blake, *Diospyros digyna* Jacq., *Ficus* sp., *Trichospermum mexicanum* (DC.) Baill.
Policultivo complejo	*Cojoba arborea* (L.) Britton & Rose, *Cordia diversifolia* Pavon ex A. DC., *Critonia morifolia* (Mill.) R.M. King & H. Rob., *Croton draco* Schltdl., *Lysiloma acapulcense* (Kunth) Benth., *Quararibea funebris* (La Llave) Vischer, *Saurauia pedunculata* Hook., *Syzygium jambos* (L.) Alston, *Talauma mexicana* (DC.) Don., *Zanthoxylum procerum* Donn. Smith.
Policultivo simple	*Leucaena diversifolia* (Lam.) de Wit, *Mangifera indica* L.

VII. Valoración participativa de atributos de especies arbóreas nativas en el sombreado de cafetales

Luis Eduardo García Mayoral[1], Guadalupe Martha Bárcenas Pazos[2], Rosalío López Morgado
[1] Investigador del Programa de Cultivos Industriales Perennes del INIFAP.
garcia.eduardo@inifap.gob.mx
[2] Investigador del Instituto de Ecologia A.C. Red de Ambiente y Sustentabilidad.
[3] Investigador del Programa de Cultivos Industriales Perennes del INIFAP.

7.1. Introducción

En el país existen regiones cafetaleras donde los campesinos han diseñado agroecosistemas diversificados, que incluyen la coexistencia de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas con el cultivo de café (Moguel y Toledo, 2004); esto refleja una agroforestería incipiente fundamentada en saberes campesinos (Budowski, 1993), los cuales incluyen conocimientos de usos, fenología, distribución y características de las especies arbóreas asociadas al cafetal (López *et al.*, 2006). Sin embargo, cabe señalar que todavía faltan procesos de desarrollo participativo de capacidades para el manejo silvícola y aprovechamiento de los árboles del estrato de sombreado de los cafetales (Muschler, 1999). Sin embargo, estos agroecosistemas diversificados y los saberes locales de los cafeticultores sobre su manejo, fundamentan la posibilidad de lograr una mayor productividad de la finca y conforman la base sociocultural para aprovechar óptimamente los recursos agroecológicos de las regiones productoras de café. Las especies forestales nativas con potencial agroecológico para crecer en zonas cafetaleras, representan la biodiversidad productivamente aprovechable por sistemas diversificados de fincas. La agrobiodiversidad que se genere junto con la biodiversidad asociada al agroecosistema (Vandermeer y Perfecto, 1998; Boege, 2002), irán reconformando paulatinamente un microclima y un ciclo hidrológico casi similar al de la vegetación original, favoreciéndose con toda seguridad el restablecimiento en parte de la flora y fauna silvestre (Vázquez-Yanes y Batis, 1996) que aún permanece en algunas regiones cafetaleras. Sin embargo, existe la necesidad de aprender a propagar las especies nativas, en tal forma que se posibilite su uso exitoso en cada región cafetalera de la Zona Centro del Estado de Veracruz (ZCEV). Esto implica profundizar en su conocimiento biológico, ecológico y de manejo silvícola, además de contemplar sus atributos más valorados por los productores (Batis *et al.*, 1999), con lo cual se

favorecería el poder integrarlas a sistemas agroforestales para la producción de café (SAF-Café). Cabe señalar que la disponibilidad de material de plantación e información técnica, ha facilitado el establecimiento de especies introducidas en el estrato de sombreado de cafetales (Benítez *et al*., 2004), lo cual indica que generar información similar, acerca de las especies nativas, es un pendiente por atender. Así, bajo la hipótesis de que empleando árboles nativos de usos múltiples (sombra, madera, refugio de fauna y flora entre otros) es posible enriquecer el estrato de sombreado de la finca de café, se realizó un estudio para el reconocimiento de las especies forestales maderables nativas, presentes en la sombra de cafetales en las distintas regiones productoras de café de la ZCEV. El objetivo fue registrar en una primera aproximación, las especies forestales nativas que componen el arbolado del cafetal y conformar un listado de atributos que los productores aprecian en tales especies, mismos que presuponen el fundamento de su presencia en el estrato de sombreado de la finca. Metodológicamente se aplicaron entrevistas estructuradas e informantes clave que apoyaron con información específica sobre la riqueza forestal de comunidades y regiones; con esta información sistematizada, fue posible realizar talleres rurales participativos. Estas acciones permitieron identificar especies de uso común, ampliamente conocidas por los cafeticultores, tanto por su presencia en las fincas, como por sus bondades en el sombreado del café, entre otros atributos. Los resultados indican una alta diversidad de especies nativas que podrían consumar una oportunidad de conservación de germoplasma forestal nativo e incremento y mantenimiento de la productividad de fincas, así como la valoración de los servicios ambientales que proporcionan los cafetales.

7.2. Antecedentes

Los ambientes tropicales húmedos conforman los ecosistemas terrestres de mayor diversidad biológica; sin embargo, las tasas de extinción de especies que están dándose en estos ambientes, les ha conferido una alta prioridad mundial en su conservación (Reynoso-Santos *et al*., 2009). El cambio de uso del suelo, al fragmentar áreas compactas y densas de vegetación primaria o perturbada, es la actividad antropogénica que más impacta a selvas y bosques (Myers *et al*., 2000), y es un fenómeno que paulatinamente, vía más desmontes, va consumiendo totalmente los fragmentos de vegetación. Lo anterior ha llevado,

como estrategia de conservación, a recomendar la inclusión de los agropaisajes en áreas de aseguramiento y mantenimiento de la flora y fauna nativa (Sánchez, 2005), cuyo fundamento radica en que alrededor del 95% del medio terrestre está sosteniendo actividades agroproductivas o ecosistemas antropogénicamente intervenidos (Pimentel *et al*., 1992). Esto muestra que la diversidad biológica convive con los agroecosistemas y ecosistemas en estos espacios, por lo que establecer áreas productivas ecológicamente diversas, podría representar una contribución potencial de la agricultura en la conservación de la biodiversidad. Un caso de ello es el agroecosistema café, el cual se destaca por favorecer la conservación del suelo, moderar los escurrimientos y propiciar la infiltración del agua de lluvia (Geissert e Ibañez, 2008), además de ocasionar una importante captura de carbono (Dávalos *et al*., 2008). También, los cafetales son valorados por su conservación de la biodiversidad, sobre todo por el papel que desempeñan como refugio para la vida silvestre (Moguel y Toledo, 2004; Toledo y Moguel, 2012), si son manejados mediante prácticas de agricultura tradicional (Moguel y Toledo, 1999; Soto-Pinto *et al*., 2000) y de la mano con la naturaleza (Fischersworring y Robkamp, 2001).

Los beneficios socioeconómicos y ecológicos en forma simultánea, que caracterizan al cafetal bajo sombra, han propiciado que se considere a los cafetales como un sistema diverso que puede ofrecer múltiples bienes y servicios (Beer *et al*., 1998; Muschler, 1999; 2001). El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2012) informa que la combinación de arbustos de café y árboles que proveen sombra, da paso a la formación de un bosque secundario que brinda los beneficios ambientales ya asentados, además de brindar la oportunidad de obtener sostenidamente otros productos cosechables en la finca y el retorno de bondades socioeconómicas como la rentabilidad del cafetal. Asimismo, experimentos realizados en el sureste de México, confirman que no hay ninguna razón para sustituir las plantaciones tradicionales biodiversas por plantaciones con sombra monoespecífica con base en árboles del género *Inga* (Peeters *et al*., 2003), y mucho menos plantar café a pleno sol (Fournier, 1987). En este enfoque, la información documentada sobre las bondades agroecológicas del sistema agroforestal café, parece coincidir con la descripción de productos y servicios que la selva provee para la humanidad, expuestos por López y Valdez (2011) y con las similitudes del agroecosistema café con el bosque mesófilo de montaña, registrado por Geissert e Ibañez (2008).

Diversidad arbórea en fincas de café

México ocupa el primer lugar en cafetales con sistemas de producción bajo sombra permanente (CCNDS, 2004). Los llamados sistemas sombreados en un gradiente de modalidades que van desde los dos sistemas tradicionales, con árboles de la vegetación primaria y sombra diversificada (rusticano y de policultivo), pasando por un sistema de policultivo comercial con árboles escasos y especies introducidas, hasta el sistema especializado, con sombra monoespecífica, conforman la mayoría de las formas de producir café en México (Moguel y Toledo, 2004). Esto último en una clasificación cualitativa y hasta cierto punto imprecisa, al no considerar variables de tipo socioeconómico y cultural (Toledo y Moguel, 2012). No obstante, en los últimos 20 años, debido a los bajos precios del café y a los altos costos en su producción bajo sistemas intensivos, y junto con la demanda social de una agricultura más amigable con el ambiente (Muschler y Bonnemann, 1997), los sistemas de fincas cafetaleras especializadas en la producción de café cereza, bajo un estrato monoespecífico de sombreado, se están reconvirtiendo a fincas con un estrato arbóreo de interés económico, ecológico y social (Cartay, 1999; Muschler, 1999). Ambientalmente, los cafetales tradicionales cultivados bajo sombra son un área agroforestal rica en biodiversidad. La diferencia en cuanto a diversidad de especies entre una plantación a pleno sol y una bajo sombra, es que esta última tiene de 60 a 80% más especies que la primera, considerando toda la biocenosis del agroecosistema (Coello, 2003). En cafetales establecidos en la Sierra Norte de Puebla y Veracruz, Moguel y Toledo (2004) reportaron de 20 a 60 y de 13 a 60 especies arbóreas por hectárea, respectivamente; además, indicaron que los cafetales de Veracruz, albergan alrededor de 36 especies de aves, resaltando la importancia de los cafetales bajo sombra para la conservación y protección de la biodiversidad.

Etnoecología en el estudio de la diversidad biológica del agroecosistema café

La naturaleza y la cultura en su interrelación han generado interrogantes acerca del cómo y por qué las sociedades humanas se relacionan con su hábitat, siendo estos cuestionamientos objeto de estudio de varias disciplinas de las ciencias naturales y sociales, bajo corrientes de pensamiento que han tratado de dar respuesta a los vacíos de conocimiento en mención (Reyes García y Martí, 2007),

centrándose el interés en el estudio de los saberes ecológicos locales como conocimiento aportante de herramientas para el manejo sostenible de los recursos naturales, lo cual proporciona la perspectiva etnoecológica. La etnoecología se enfoca en el estudio de los sistemas de conocimiento, prácticas y creencias que los diferentes grupos humanos tienen sobre su medio ambiente (Toledo, 2002). Así, la etnoecología aporta cada vez más, de manera relevante, herramientas y métodos para estudios relacionados con la interacción de las familias rurales y el medio ambiente (Padilla, 2007). La etnobotánica, como parte de la etnoecología, estudia lo concerniente al conocimiento y sus relaciones con las plantas por parte de un entorno comunitario de población local (Flores y Albizu, 2005), donde el análisis cuantitativo de tales relaciones de la gente con las plantas, suele aportar herramientas para medir el valor de uso de las especies vegetales para una comunidad (Padilla, 2007). La etnobotánica cuantitativa transforma los conocimientos locales tradicionales en valores relativos de uso, utilizándosele más en la evaluación de productos forestales no maderables; la cuantificación de los valores de uso, posibilita la comprobación de hipótesis estadísticas sobre la importancia de las diferentes especies vegetales para la población local (Flores y Albizu, 2005).

Los conocimientos campesinos acerca del medio natural comunitario, constituyen un componente fundamental de su estrategia de apropiación de recursos y supervivencia, por lo que la producción agrícola diferenciada, generada a través de prácticas agroecológicas, está asociada a un conocimiento local específico (Labrador, 2001). Tal es el caso de la producción de café orgánico, ecológico, de especialidad, entre otros, que proviene de un conocimiento transmitido de generación en generación, a través de un proceso espontáneo de comunicación de productor a productor (Vejarano, 1991). Estos antecedentes entre otros, confieren a los estudios etnobotánicos ir más allá de un listado de nombres comunes y usos, cuando al aplicar métodos cuantitativos, facilitan el entendimiento de las relaciones entre el hombre y su medio ambiente, así como los factores que las influyen, además de aportar adicionalmente información sobre las especies expuestas a mayor presión de extracción en las poblaciones silvestres (Hurtado y Moraes, 2010). La diversidad de especies arbóreas presentes en el sombreado de cafetales, sin duda cuenta con algún atributo que le permite ocupar un espacio en la finca de café, atributos diversos de uso actual, ya sea como sombra, madera, leña, alimento, medicina, ceremonial, ornamental, entre otros, o también, quizás con algún uso potencial.

Métodos cuantitativos en etnobotánica

Algunos recursos vegetales silvestres están gravemente amenazados por la pérdida de hábitat y la sobreexplotación selectiva de especies, además de que el conocimiento local sobre sus usos y aprovechamiento sustentable, está desapareciendo rápidamente del entorno de las comunidades rurales. En un contexto de conservación y uso sostenible de los recursos vegetales, la etnobotánica cuantitativa puede contribuir como base científica para la toma de decisiones (Höft *et al*., 1999), basándose en la premisa de que un alto valor de importancia de determinadas especies, indica mayor presión de uso y extracción del recurso vegetal, vía especies muy singulares por sus caracteres. Hay estudios en etnobotánica que aplican técnicas cuantitativas para evaluar los diferentes usos y la importancia cultural de diferentes familias y "grupos" de plantas, a fin de conocer el grado de impacto ocasionado por la explotación y falta de planes de aprovechamiento, en las poblaciones silvestres locales con mayor índice de importancia (Alburquerque *et al*., 2006). Las técnicas más frecuentemente usadas son los cálculos de índices basados en el consenso de informantes, los cuales tienen gran interés científico, ya que reflejan el valor cultural sobre la diversidad vegetal, lo cual podría contribuir en su conservación (Byg y Balslev, 2001).

Existen diversos índices de importancia cultural, los cuales son medidas cuantitativas diseñadas para transformar el complejo concepto multidimensional de "importancia" en escalas o valores numéricos estandarizados y comparables. En los últimos 15 años, el grupo de métodos que ha tenido más influencia para el cálculo de la importancia cultural, es el de "consenso de informantes", basado éste en el supuesto de que la frecuencia de mención es un indicador de importancia; cada mención para cierta planta se registra por separado y se refiere como un "evento", y la misma planta y el mismo informante puede participar en muchos eventos (Hoffman y Gallaher, 2007), lo cual genera más datos en comparación con otros métodos y evita un sesgo en el estudio etnobotánico (Phillips, 1996). Sin embargo, este método tiene algunas limitantes, como el hecho de que los resultados pudieran reflejar más la idiosincrasia y estructura del conocimiento individual, que las propiedades y atributos de importancia de las plantas (Wong, 2000), ya que sólo analiza el número promedio de usos citados; por lo tanto, una planta raramente mencionada, con dos usos, sería más "importante" que una planta con muchas

menciones, pero con un solo uso. Es importante recordar que el uso real puede ser influenciado por la estacionalidad, la escasez de recursos, la edad, el enfoque de género, las tradiciones, la pérdida de conocimiento y la degradación cultural. En este capítulo se usó el índice de importancia cultural (IIC), el cual tiene un cálculo semejante al índice de valor de importancia, ya que este último es un índice estructural desarrollado por Curtis y McIntosh (1951), el cual jerarquiza la dominancia de cada especie en rodales mezclados, por lo que es posible realizar comparaciones entre el valor cultural dado por las personas y el valor ecológico dado por la interacción de las plantas con su ambiente.

7.3. Etnobotánica de las especies arbóreas en el sombreado de cafetales

La estructura de los SAF-Café en la ZCEV, en específico el componente forestal, está representado por al menos 42 especies, con una frecuencia dominada por el chalahuite, cedro rojo, jinicuil e ixpepe. Las 42 especies y sus frecuencias son el resultado del número de menciones que cada entrevistado hizo de la especie en seis regiones de la ZCEV, donde fueron aplicadas un total de 59 entrevistas estructuradas. En el Cuadro 7.1 aparecen los nombres comunes y científicos de las primeras 17 especies con mayor frecuencia de mención.

CUADRO 7.1. NOMBRE COMÚN Y CIENTÍFICO DE ESPECIES CON MAYOR FRECUENCIA DE MENCIÓN POR SU PRESENCIA EN FINCAS CAFETALERAS DE LA ZCEV.

ESPECIE ARBÓREA	FRECUENCIA		ESPECIE ARBÓREA	FRECUENCIA	
	ABS	REL (%)		ABS	REL (%)
Chalahuite (*Inga vera*)	39	65.0	Roble (*Tabebuia rosea*)	7	11.7
Cedro rojo (*Cedrela odorata*)	34	56.7	Fresno (*Fraxinus uhdei*)	6	10.0
Jinicuil (*Inga jinicuil*)	17	28.3	Primavera (*Tabebuia donell-smithii*)	6	10.0
Ixpepe (*Trema micrantha*)	17	28.3	Aguacate (*Persea americana*)	5	8.3
Encino (*Quercus* sp.)	12	20.0	Pino (*Pinus chiapensis*)	4	6.7
Caoba (*Swietenia macrophylla*)	11	18.3	Picho o duela (*Schizolobium parahyba*)	4	6.7
Xochitlcuahuitl (*Cordia alliodora*)	10	16.7	Bienvenido o cacao (*Tapirira mexicana*)	4	6.7
Nogal (*Juglans pyriformis*)	10	16.7	Haya (*Platanus mexicana*)	4	6.7
Chinine (*Persea schiedeana*)	8	13.3	Otros	<3	<5

Asimismo, en el Cuadro 7.2 se presenta un listado parcial de las especies arbóreas más conocidas y valoradas por los productores, a través de una escala del 5 al 10, considerando los atributos de buena sombra para el cafetal y calidad de la madera en las fincas de la ZCEV.

CUADRO 7.2. VALORACIÓN DE LA SOMBRA Y DE LA MADERA DE 20 ESPECIES ARBÓREAS PRESENTES EN LA ZCEV.

ESPECIE ARBÓREA	CALIFICACIÓN		ESPECIE ARBÓREA	CALIFICACIÓN	
	Madera	Sombra		Madera	Sombra
Cañamazo (*Cojoba arborea*)	9	10	Xochitlcuahuitl (*Cordia alliodora*)	10	6
Aguacatillo (*Ocotea puberula*)	9	8	Sangregado (*Pterocarpus rohrii*)	7	8
Amargoso (*Vatairea lundellii*)	8	8	Farolillo (*Hernandia wendtii*)	7	8
Bienvenido (*Tapirira mexicana*)	8	8	Fresno (*Fraxinus uhdei*)	7	8
Capulín tentepo (*Prunus tetradenia*)	8	8	Nacaxtle (*Enterolobium cyclocarpum*)	7	8
Cedro rojo (*Cedrela odorata*)	10	6	Jinicuil (*Inga jinicuil*)	5	10
Gateado (*Astronium graveolens*)	8	8	Picho (*Schizolobium parahyba*)	7	8
Liquidámbar (*Liquidambar macrophylla*)	8	8	Tempesquistle (*Sideroxylon persimile*)	7	9
Nazareno (*Simira salvadorensis*)	8	8	Vainillo (*Inga* spp.)	5	10
Pino (*Pinus chiapensis*)	8	8	Chinini (*Persea schiedeana*)	7	6

Obsérvese como el cedro rojo *Cedrela odorata,* es un referente sobre la madera, y el vainillo o chalahuite *Inga* spp., lo es para la sombra en los cafetales; una combinación de especies compatibles y apropiadas localmente permitiría diseños de SAF-Café con mayor riqueza de especies que susciten la diversificación productiva del cafetal.

Talleres rurales participativos y cuantificación de resultados

En cinco regiones de la ZCEV (Atzalan, Misantla, Coatepec, Córdoba y Huatusco), se realizaron talleres de evaluación rural participativa con la finalidad de conocer la importancia cultural que los cafeticultores dan a las especies arbóreas nativas presentes en el cafetal, recabándose la información en una base de datos con los usos de las especies y su frecuencia de mención (Anexo C). El listado obtenido fue de 38 nombres comunes, de los cuales se logró determinar 36 hasta especie y los otros dos fueron desconocidos. A cada especie se le calculó el índice de

importancia cultural (IIC), propuesto por Figueroa (2000), y modificado por López y Valdez (2011). La metodología para obtener el IIC, implica calcular antes los parámetros que se describen a continuación:

Intensidad de uso *(Iu)*: porcentaje de usos en los que aparece una especie.

$$Iu = \left(\frac{u_z}{u}\right) 100$$

Dónde:

u_z = número de usos de la especie *z* para todos los informantes.

u = número total de usos mencionados.

Frecuencia de mención *(Fm)*: sumatoria de menciones para una especie, en todos los usos y de todos los informantes.

$$Fm = \Sigma m_x$$

Dónde:

m_x = número de menciones por todos los informantes para el uso *x* de la especie *z*.

Valor de uso x *(Vu_x)*: porcentaje de usos en los que aparece una especie para un uso determinado.

$$Vu_x = \left(\frac{u_{zx}}{u_x}\right) 100$$

Dónde:

u_{zx} = número de menciones de la especie z para un uso x por todos los informantes.

u_x = número total de menciones de todas las especies para un uso *x* por todos los informantes.

Valor de uso total de la especie z *(Vu_{tz})*: sumatoria de los valores de uso x de una especie.

$$Vu_{tz} = \Sigma Vu_x$$

Después de valorados los parámetros que anteceden, fueron calculados los siguientes atributos relativos.

Intensidad de uso relativa:

$$Iu\ rel = \left(\frac{u_z}{u_t}\right) 100$$

Dónde:

u_z = número de usos de la especie *z* para todos los informantes.

u_t = número total de usos para todas las especies y todos los informantes.

Frecuencia de mención relativa:

$$Fm\ rel = \left(\frac{Fm}{Fm_t}\right)100$$

Dónde:

Fm = frecuencia de mención.

Fm_t = número total de menciones para todas las especies, todos los usos y todos los informantes.

Valor de uso total relativo:

$$Vu_{tz}\ rel = \frac{Vu_{tz}}{u}$$

Dónde:

Vu_{tz} = valor de uso total de la especie *z*.

u = número total de usos mencionados.

Finalmente, una vez parametrizados estos últimos atributos relativos; se procedió a calcular el Índice de Importancia Cultural (IIC).

$$IIC = (Iu\ rel + Fm\ rel + Vu_{tz}rel)/3$$

De un total de 16 usos mencionados, los principales fueron sombra y madera con más de la mitad de menciones totales (Cuadro 7.3).

Las 36 especies determinadas se distribuyeron en 23 familias; las principales con base en el IIC fueron: Leguminosae, Lauraceae, Ulmaceae, Meliaceae, y Bignoniaceae, que en conjunto acumulan el 50% del IIC total. Las leguminosas cuentan con la mayor riqueza de especies (ocho) y número de usos mencionados, por lo que acumula un IIC de 27.7% (Cuadro 7.4), lo que denota la importancia que los productores dan a éstas por su carácter multiusos (Jiménez-Ferrer *et al*., 2008; López-Toledo, 2008), al brindar desde productos alimenticios o medicinales hasta servicios faunísticos; además demuestra el conocimiento local de los cafeticultores acerca de las especies arbóreas presentes en los cafetales.

De todas las especies registradas, únicamente *C. odorata* (cedro rojo) e *Inga* spp. (chalahuite) fueron mencionadas en todas las regiones donde se realizó el

estudio; cabe resaltar que esta última especie obtuvo la mayor frecuencia de mención y en consecuencia es de las especies arbóreas con mayor IIC en la ZCEV (Cuadro 7.5).

CUADRO 7.3. USOS MENCIONADOS PARA ESPECIES ARBÓREAS EN LA ZCEV.

CLAVE	USOS	MENCIONES		ESPECIES MÁS USADAS
		TOTAL	%	
So	Sombra	54	26.6	*Inga* spp., *Persea schiedeana*
Ma	Madera	53	26.1	*Cedrela odorata, Tapirira mexicana, Trema micrantha*
Le	Leña	24	11.8	*Inga* spp., *Inga jinicuil*
Al	Alimento (flor/fruto)	24	11.8	*Persea schiedeana, Juglans pyriformis*
Mo	Materia orgánica	19	9.4	*Inga* spp., *Inga jinicuil*
Fa	Fauna	11	5.4	*Quercus* spp., *Pinus chiapensis*
Ra	Refugio de aves	3	1.5	*Platanus mexicana*
Po	Postes/horcones	3	1.5	*Diphysa robinioides*
Ml	Melífero	2	1.0	*Aspidosperma megalocarpon, Diphysa robinioides*
Fl	Flora	2	1.0	*Pinus chiapensis, Prunus serotina*
Md	Medicinal	2	1.0	*Fraxinus uhdei*
Ho	Hongos comestibles	2	1.0	*Dendropanax arboreus, Heliocarpus appendiculatus*
Ar	Artesanal	1	0.5	*Cordia alliodora*
Be	Belleza escénica	1	0.5	*Ficus* spp.
Ca	Carbón	1	0.5	Guaje cimarrón (no identificada)
Gu	Gusanos	1	0.5	*Ulmus mexicana*

CUADRO 7.4. PARÁMETROS DE LAS PRINCIPALES FAMILIAS ENCONTRADAS EN LA ZCEV.

FAMILIA	No. ESPECIES	No. USOS	Iu rel.	Fm rel.	Vu_{tz} rel.	IIC
Leguminosae	8	10	26.1	29.1	27.8	27.7
Lauraceae	4	6	10.4	13.8	5.5	9.9
Ulmaceae	2	5	4.5	5.4	8.2	6.0
Meliaceae	2	5	4.5	5.4	3.5	4.5
Bignoniaceae	2	2	3.0	2.0	0.8	1.9
Subtotal	18	11	48.5	55.7	45.8	50.0

Iu rel: Intensidad de uso relativa; Fm rel: frecuencia de mención relativa; Vu_{tz} rel: valor de uso total relativo; IIC: índice de importancia cultural.

CUADRO 7.5. ESPECIES CON MAYOR IMPORTANCIA CULTURAL EN LA ZCEV.

FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	REGIÓN DE MENCIÓN	Iu rel.	Fm rel.	Vu_{tz} rel.	IIC
Leguminosae	*Diphysa robinioides*	Quiebracho	3, 5	4.5	3.4	8.0	5.3
Leguminosae	*Inga* spp.	Chalahuite	1, 2, 3, 4, 5	3.0	7.9	3.8	4.9
Oleaceae	*Fraxinus uhdei*	Fresno	4, 5	3.7	3.4	7.2	4.8
Boraginaceae	*Cordia alliodora*	Xochitlcuahuitl	4,5	3.7	3.0	7.2	4.6
Meliaceae	*Cedrela odorata*	Cedro rojo	1, 2, 3, 4, 5	3.7	4.9	3.4	4.0
Leguminosae	No determinada	Guaje cimarrón	5	3.0	2.0	7.0	4.0
Leguminosae	*Inga jinicuil*	Jinicuil	2, 3, 4	3.7	5.4	2.5	3.9
Lauraceae	*Persea schiedeana*	Chinine	1, 2, 3, 4	3.0	5.9	2.4	3.8
Pinaceae	*Pinus chiapensis*	Pino	1,3	3.0	3.4	4.7	3.7
Platanaceae	*Platanus mexicana*	Haya	1, 4	3.0	3.0	4.6	3.5
	Otras 28 especies			65.7	57.6	49.1	57.5
TOTAL				**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**

Iu rel: Intensidad de uso relativa; Fm rel: frecuencia de mención relativa; Vu_{tz} rel: valor de uso total relativo; IIC: índice de importancia cultural. 1=Atzalan; 2=Misantla; 3=Coatepec; 4=Huatusco; 5=Córdoba.

Existe una relación positiva entre la proximidad del cafetal a la comunidad, su riqueza en agrobiodiversidad y el nivel de presión sobre los recursos del agroecosistema café. Esta relación es debida al conocimiento de la flora útil, teniendo generalmente como resultado una disminución en abundancia, altura y diámetro de los árboles. La presión generada sobre la agrobiodiversidad del cafetal por la obtención de recursos vegetales, es una variable importante para la formulación de hipótesis etnoecológicas (Jiménez y Rangel, 2012), considerando que en función del uso real y el conocimiento de uso pueden generar efectos positivos o negativos en el uso sostenible de las especies. Las comunidades rurales productoras de café desempeñan un papel operante en la preservación de los recursos naturales, uniéndose con apego y conocimiento a los procesos ecológicos que definen los recursos vegetales locales, con los cuales satisfacen necesidades básicas y culturales. Así, la caracterización y cuantificación de los atributos que fundamentan el uso de estos recursos, es básicamente la raíz de los principios que dan racionalidad explicada de su conservación y manejo. Por ejemplo, se registraron especies con frecuencia de mencion y abundancia baja (Cuadro 7.6), raramente presentes en las fincas de café, que sin embargo son importantes para la comunidad, tales como *Dyphysa*

robinioides, Fraxinus uhdei, Cojoba arborea o *Leucaena leucocephala*, especies con un IIC alto debido a la cantidad de usos, pero que sólo fueron mencionadas en no más de dos regiones, lo que podría indicar la necesidad de realizar acciones en pro de una mayor difusión de sus atributos para promover su uso y preservación en los SAF-Café.

CUADRO 7.6. PRINCIPALES ESPECIES CON MAYOR NÚMERO DE USOS Y FRECUENCIA DE MENCIÓN.

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	USOS	No. USOS	Iu (%)	Fm
Leguminosae	*Diphysa robinioides*	Quiebracho	So,Ma,Le,Al,Ml,Po	6	37.5	7
Leguminosae	*Inga jinicuil*	Jinicuil	So,Ma,Mo,Le,Al	5	31.3	11
Meliaceae	*Cedrela odorata*	Cedro rojo	So,Ma,Le,Al,Ra	5	31.3	10
Anacardiaceae	*Tapirira mexicana*	Cacao	So,Ma,Mo,Le,Al	5	31.3	10
Oleaceae	*Fraxinus uhdei*	Fresno	So,Ma,Mo,Le,Md	5	31.3	7
Leguminosae	*Cojoba arborea*	Cañamazo	So,Ma,Mo,Al,Fa	5	31.3	7
Boraginaceae	*Cordia alliodora*	Xochitlcuahuitl	So,Ma,Mo,Le,Ar	5	31.3	6
Leguminosae	*Leucaena leucocephala*	Guaje	So,Le,Al,Fa,Ra	5	31.3	5
Apocynaceae	*Aspidosperma megalocarpon*	Volador	So,Ma,Al,Fa,Ml	5	31.3	5
Leguminosae	*Inga* spp.	Chalahuite	So,Mo,Le,Al	4	25.0	16
Otras 28 especies				16	100	119
TOTAL				16	100	203

So=sombra, Ma=madera, Le=leña, Mo=materia orgánica, Al=alimento, Fa=fauna, Ml=melífero, Po=postes, Ra=refugio de aves, Md=medicinal, Ar=artesanal

7.4. Calidad de madera de árboles en el sombreado de cafetales

Entre los usos de las especies arbóreas utilizadas como sombra en las fincas cafetaleras, el maderable puede ser una buena opción para generar ingresos, cuando la producción de café no sea redituable o entre cosechas (Beer *et al.*, 1998; Beer *et al*., 2003; Dzib, 2003; Rojas *et al*., 2004; Scherr, 2004; Jende y Jurgen, 2006). De las especies arbóreas nativas de las zonas cafetaleras de la región central del estado de Veracruz, se puede obtener madera de buena calidad para los mercados locales o regionales (guanacaxtle, aguacate, liquidámbar, ciprés, nogal, fresno, y encinos blancos y rojos) con características estéticas apreciadas para la fabricación de muebles y de caracteristicas aceptables para su uso en la

construcción. Además, existen especies de árboles de sombra en cafetales rústicos que son de usos múltiples, apreciados por los propietarios por su contribución a los servicios ambientales (Soto-Pinto *et al.*, 2000; 2006; 2007; Beer *et al*., 2003; McDonald *et al.*, 2003; Rojas *et al*., 2004), como el almacenamiento de carbono.

Existe poca información sobre la diversidad de la vegetación leñosa en la ZCEV, y aún menos, sobre la utilidad potencial de estas especies para los productores de café. En particular, los estudios realizados hasta la fecha han evaluado la calidad de la madera de sólo una pequeña fracción de las especies maderables utilizadas como sombra en los sistemas agroforestales cafetaleros de esta región (Carmona, 1979; Córdoba, 1985; Bárcenas y Ortega, 1994; Machuca *et al.,* 1999; Jende y Jürgen, 2006).

Con base en los resultados de los cuestionarios estructurados aplicados en 59 fincas y de los talleres participativos, se determinaron las especies árbóreas más apreciadas por los propietarios, revisándose información documentada al respecto para determinar sobre cuáles existía información técnica. Se encontró abundante información sobre las más apreciadas, como cedro rojo y caoba (SARH, 1982; Barcenas, 1995; Silva *et al*., 2010); de igual forma, también existe información sobre ixpepe y encinos (Bárcenas y Ordóñez, 2008; Machuca *et al*., 1999).

Haciendo uso de un aprovechamiento autorizado de cuatro especies en la región de Córdoba, Ver., se recolectó material para caracterizar cuatro especies con reconocimiento de importancia por parte de los productores y considerado valor comercial en la región, en otros estados de la República Mexicana y en otros países (Gutiérrez y Dorantes, 2004). Las especies contempladas fueron *C. alliodora* (xochicuahuitl, bojón), *J. piryformis* (nogal, cedro nogal), *O. puberula* (zopilote, aguacatillo) y *T. mexicana* (cacao, bienvenido). Las cuatro son especies forestales nativas del país (Figura 7.1). La madera de xochicuahuitl, zopilote y cacao se recolectó en la finca El Napoleón en el municipio de Atoyac, y la de nogal, en la finca El Paraíso, del municipio de Córdoba.

Cordia alliodora xochicuahuitl	*Juglans piryformis* cedro nogal	*Ocotea puberula* zopilote	*Tapirira mexicana* cacao volador

Figura 7.1. Madera de especies seleccionadas para estudio de propiedades físicas y mecánicas.

Para obtener un valor promedio de las propiedades mecánicas, con límites de confianza de 90%, se obtuvieron 12 tablones aleatorios de la zona con aprovechamiento comerical autorizado. El material recolectado se trasladó a las instalaciones del Instituto de Ecología A.C. (INECOL), en donde se elaboraron las probetas, según lo establecido por las normas ASTM, D-143 (ASTM, 2010) para las pruebas físicas, secado (velocidad y defectos) y movimientos dimensionales y para las pruebas mecánicas de flexión, compresión paralela y perpendicular, cortante, dureza e impacto, en condición verde. Con estas pruebas se obtuvieron los datos estadísticos básicos para cada propiedad de la madera de las especies consideradas.

La madera de *C. alliodora* y de *J. pyriformis* presentaron características semejantes, siendo madera suave, de densidad media, con resistencia baja a media, semejante a la madera de cedro. La madera de *C. alliodora* presentó valores de contracciones de bajas a medias, y velocidad de secado de baja a media, entre 60 y 90 días al aire libre durante los meses de noviembre a abril (18 grados centígrados y 80 a 90% humedad relativa). Por su parte, la madera de nogal se secó entre 90 y 120 días; el contenido de humedad presente en las

muestras de ambas maderas fue superior al 100%, para el caso de *C. alliodora* su contenido de humedad inicial fue de 150% con relación a su peso anhidro, lo cual se determinó mediante la siguiente fórmula: Contenido de Humedad (%) = (Peso inicial – peso anhidro) /peso anhidro) * 100.

La madera de ambas especies fue fácil de aserrar y trabajar, con acabados en los procesos de transformación de calidad regular, presentando en general grano entrecruzado, es decir, la disposición de las fibras (hilo o grano) fue opuesta entre capa y capa debido a un crecimiento de éstas en forma de espiral, siendo más abundante en la madera de *J. pyriformis*. En cuanto a su uso, la madera de ambas especies es apreciada tradicionalmente por su calidad para la fabricación de muebles de alto valor, por sus características de maquinado, además de que no se deforman durante el secado. Se recomiendan también para cajas de embalaje o decorativas y artesanías.

En contraste, la madera de *T. mexicana* presentó valores de densidad muy altos; es una madera muy pesada, con resistencia mecánica muy alta, pero también con valores de contracción muy altos, y secado muy lento (más de 120 días), haciéndose necesario un maquinado muy lento para obtener superficies con textura fina y brillo alto, lo cual le confiere alta calidad de acabado. Las características de la madera de esta especie son muy diferentes a las de pino o de cedro, ya que presenta dureza y resistencia muy alta, recomendándose para uso en pisos y productos torneados, así como para muebles de alta calidad, siempre y cuando se trabaje a bajas velocidades con los equipos de carpintería.

La madera de *O. puberula* presentó valores de densidad bajos, madera ligera, con resistencia mecánica de media a baja, con valores de contracción medios, secado rápido (menos de 90 días) y facilidad para aserrar y trabajar, con acabados en los procesos de transformación de calidad regular, presentando abundancia de granos entrecruzados. Su resistencia mecánica es ligeramente más baja que la de pino y comparable con la del cedro. La madera de *O. puberula* se recomienda para armazones de muebles, cajas de empaque, recubrimientos y muebles en general, sugiriéndose su protección con acabados de barniz, debido a su ligereza.

7.5. Síntesis reflexiva

El desarrollo forestal comunitario está entrando ahora en una nueva etapa, en la cual el conocimiento local de la comunidad se combina con el conocimiento del facilitador de programas y proyectos de uso y manejo de los recursos naturales locales. Muchos de estos recursos en las comunidades cafetaleras están presentes en las fincas de café, por lo que el agroecosistema café debe tratarse como un fragmento de vegetación o bosque cultivado (Moguel y Toledo, 2004). El Diagnóstico, Seguimiento y Evaluación Participativos (DSEP) ofrece una nueva manera de pensar respecto a la conservación, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales locales, basándose en la premisa de que las comunidades deberán asumir la responsabilidad sobre sus recursos y evaluar, finalmente, el éxito o fracaso de sus formas de uso de los recursos locales. Por esta razón hay que apoyar y fortalecer las capacidades de sus integrantes para que ellos mismos puedan plantear su propia problemática y procurar formular alternativas de solución, facilitándoles mejorar su capacidad para comunicarse, y haciéndoles posible que ellos puedan presentar sus evaluaciones, en términos que los facilitadores del desarrollo comunitario, centros de investigación y quienes formulan las políticas públicas, puedan entender (FAO, 1995).

Las especies forestales maderables nativas presentes en los SAF-Café tradicionales del espacio geográfico de la ZCEV, representan un recurso de valor para enriquecer el sombreado de los cafetales y considerar la sombra de la finca como un cultivo más en la estructura vertical de ésta, con lo cual se propiciaría un mejoramiento de los ingresos de los cafeticultores, mediante la producción rentable de café en armonía con el ambiente. Es importante que estas especies forestales maderables sean conocidas por agentes de cambio y facilitadores del desarrollo rural en las regiones cafetaleras, a fin de promover su establecimiento en las plantaciones de café conforme a su aptitud local, considerando la altitud en la que se ubiquen los cafetales. Los antecedentes expuestos contextualizan los resultados mostrados en el presente capítulo, resaltando la diversidad de especies arbóreas presentes en el estrato de sombreado de las fincas de café en la ZCEV y su valor de uso, y potenciando el hecho de que más árboles sean usados en otras regiones que propicien la conservación del germoplasma forestal nativo.

Reconocimiento: la caracterización tecnológica fue realizada por el pasante de Ingeniería Industrial Saúl Zavaleta Alarcón; todo el trabajo fue realizado con la participación de Víctor Rubén Ordóñez Candelaria y José Luis Martínez Castillo, técnicos académicos del INECOL.

Literatura citada

Albuquerque, U. P., R. F. P. Lucena, J. M. Monteiro, A. T. N. Florentino and C.de F. C. B. R. Almeida. 2006. Evaluating two quantitative ethnobotanical techniques. Ethnobotany Research & Applications 4:51-60.

ASTM (American Society for Testing Materials). 2010. Standard methods for conducting machining tests of wood and wood-base materials designation: D 1666-87 (Reapproved 2004).

Bárcenas, P. G. M. 1995. Caracterización tecnológica de veinte especies maderables. Madera y Bosques 1(1):9-38.

Bárcenas, P. G. M. y F. Ortega E. 1994. Fichas tecnológicas de cuatro especies de madera del bosque mesófilo de montaña. Revista Forestal Latino Americana 13(93):39-71.

Bárcenas, P. G. M. y V. R. Ordóñez C. 2008. Calidad de la madera de especies arbóreas en fincas cafetaleras. p. 237-248. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz. Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México D. F.

Batis, M. A. I., M. I. Alcocer S., M. Gual D., C. Sánchez D. y C. Vázquez-Yanes. 1999. Árboles mexicanos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. J084. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Beer, J., M. Ibrahim, E. Somarriba, A. Barrance y R. Leakey. 2003. Establecimiento y manejo de árboles en sistemas agroforestales. p. 197-242. *In*: Cordero, J. y D. H. Boshier (eds.). Árboles de Centroamérica. OFI/CATIE. Costa Rica.

Beer, J., R. Muschler, D. Kass and E. Somarriba. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. Agroforestry Systems 53:139-164.

Benítez, B. G., M. T. P. Pulido-Salas y M. Equihua Z. 2004. Árboles multiusos nativos de Veracruz para reforestación, restauración y plantaciones. Instituto de Ecología, A. C. SIGOLFO-CONAFOR. Xalapa, Ver., México. 288 p.

Boege, E. 2002. Protegiendo lo nuestro: manual para la gestión ambiental comunitaria, uso y conservación de la biodiversidad de los campesinos indígenas de América Latina. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Fondo para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas de América Latina y el Caribe. Serie Manuales de Educación y Capacitación Ambiental No. 3. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D. F. 173 p.

Budowski, G. 1993. Agroforestería: una disciplina basada en el conocimiento tradicional. Revista Forestal Centroamericana 2(3)14-18.

Byg, A. and H. Balslev. 2001. Diversity and use of palms in Zahamena, Eastern Madagascar. Biodiversity and Conservation 10(6):951-970.

Carmona, V. T. F. 1979. Características histológicas de la madera de cuatro especies del bosque caducifolio de México. Tesis de Licenciatura. UNAM. Facultad de Ciencias. México, D. F. 169 p.

Cartay, R. 1999. Estrategias de sobrevivencia de los pequeños cafeticultores en tiempos de crisis. Agroalimentaria 5(9):79-82.

CCNDS (Consejo Consultivo Nacional de Desarrollo Sustentable). 2004. Café de calidad, medio ambiente y desarrollo sostenible. http//consejos.arteria.com.mx [consultado el 16 de septiembre de 2007].

Coello, J. A. M. 2003. Café amigable con las aves o "Bird friendly". Revista Electrónica Latinoamericana en Desarrollo Sustentable. http://vinculando.org/mercado/birdfriendly.htm [consultado el 13 de septiembre de 2007].

Córdoba, N. C. 1985. Uso tradicional de la madera en la región de Cosautlán de Carvajal, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Facultad de Biología. Xalapa, Ver., México 133 p.

Curtis, J. T. and R. P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. Ecology 32(3):476-496.

Dávalos, S. R., M. I. Morato P. y C. E. Martínez. 2008. Almacenamiento de carbono. p. 223-234. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A.C. Instituto Nacional de Ecología. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Dzib, C. B. B. 2003. Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Programa de Enseñanza para el Desarrollo y la Conservación. Escuela de Posgrado. Turrialba, Costa Rica. 124 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1995. Desarrollo forestal comunitario: desarrollo, seguimiento y evaluación participativos. Departamento de bosques. Depósito de documentos de la FAO. Roma, Italia. http://www.fao.org/docrep/006/T7838S/T7838S00.HTM#TopOfPage [consultado el 12 de mayo de 2013].

Figueroa, S. E. 2000. Uso agroecológico, actual y potencial de especies arbóreas en una selva baja caducifolia perturbada del suroeste del Estado de México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 120 p.

Fischersworring, H. B. y R. R. Robkamp. 2001. Guía para la caficultura ecológica. Ministerio de Cooperación Económica y Desarrollo de la República Federal de Alemania (GTZ). 3a ed. Popayán, Colombia. 152 p.

Flores, R. K. V. y F. M. M. Albizu. 2005. Caracterización del uso de plantas en el área de amortiguamiento de la reserva biológica Indio Maíz, Nicaragua. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Managua, Nicaragua. 39 p.

Fournier, L. A. 1987. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiológico. Agronomía Costarricense 12(1):131-146.

Geissert, D. y A. Ibáñez, 2008. Calidad y ambiente físico-químico de los suelos. p. 213-221. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A.C. Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Gutiérrez, C. L. y J. Dorantes L. 2004. Especies forestales de uso tradicional del estado de Veracruz: potencialidades de especies con uso tradicional del estado de Veracruz, con opción para establecer plantaciones forestales comerciales. CONAFOR. CONACYT. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver., México. 378 p.

Hoffman, B. y T. Gallaher. 2007. Importance indices in ethnobotany. Ethnobotany Research & Applications 5:201-218.

Höft, M., S. K. Barik and A. M. Lykke. 1999. Quantitative ethnobotany. Applications of multivariate and statistical analysis in ethnobotany. People and Plants Working Paper 6:1-49.

Hurtado, U. R. y M. Moraes R. 2010. Comparación del uso de plantas por dos comunidades campesinas del bosque tucumano - boliviano de Vallegrande (Santa Cruz, Bolivia). Ecología en Bolivia 45(1):20-54.

Jende, O. y H. A. Jurgen, P. 2006. Forestación y reforestación en cafetales. p. 279-298. *In*: Jurgen, P. H. A., L. Soto, P. y J. Barrera (eds.). El Cafetal del Futuro: Realidad y Visiones. Shaker Verlag. Kohlscheid, Alemania.

Jiménez, E. N. D. y J. O. Rangel Ch. 2012. La abundancia, la dominancia y sus relaciones con el uso de la vegetación arbórea en la Bahía de Cispatá, Caribe Colombiano. Caldasia 34(2):347-366.

Jiménez-Ferrer, G., R. Velasco-Pérez, M. Uribe-Gómez y L. Soto-Pinto. 2008. Ganadería y conocimiento local de árboles y arbustos forrajeros de la selva Lacandona, Chiapas, México. Zootecnia Tropical 26(3):333-337.

Labrador, J. 2001. Aproximación de la gestión agroecológica a la fertilidad del suelo. p. 129-164. *In:* Labrador, J. y M. A. Altieri. (eds.). Agroecología y Desarrollo: Aproximación a los Fundamentos Agroecológicos para la Gestión Sustentable de Agrosistemas Mediterráneos. S. A. Mundi-Prensa. Madrid, España.

López, M. R., G Díaz, P. y J. L. Martínez R. 2006. Generación de propuestas de mejoramiento de los sistemas agroforestales cafetaleros (SAF-Café) en seis ejidos del municipio de Tezonapa, Ver., como apoyo al desarrollo de un mercado de servicios ambientales dentro del programa PSA-CABSA de la CONAFOR. Informe de proyecto de servicios. INIFAP. Campo Experimental Xalapa.

López-Toledo, J. F. 2008. Estructura e importancia cultural de la vegetación arbórea en La Mica, Chiapas. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx., México. 114 p.

López, T. J. F. y J. I. Valdez H. 2011. Uso de especies arbóreas en una comunidad de la reserva de la biosfera La Sepultura, estado de Chiapas. p. 57-79. *In:* Endara, A. A. R., A. Mora S. y J. I. Valdez H. (eds.). Bosques y Árboles del Trópico Mexicano: Estructura, Crecimiento y Usos. CONAFOR. Colegio de Postgraduados. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México.

Machuca, V. R., A. Borja de la R., F. Zamudio S. y G. M. Bárcenas P. 1999. Propiedades tecnológicas de la madera de *Quercus insignis* de Huatusco, edo. de Veracruz, México. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 5(2):125-131.

McDonald, M. A, A. Hofny-Collins, J. R. Healey and T. C. R. Goodland. 2003. Evaluation of trees indigenous to the montane forest of the Blue Mountains, Jamaica for reforestation and agroforestry. Forest Ecology and Management 175(1-3):379-401.

Moguel, P. and V. M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. Conservation Biology 13(1):11-21.

Moguel, P. y V. M. Toledo. 2004. Conservar produciendo: biodiversidad, café orgánico y jardines productivos. Biodiversitas 55:2-7.

Muschler, R. G. 1999. Árboles en cafetales. Proyecto agroforestal. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Cooperación Técnica Alemana (GTZ). Materiales de enseñanza No. 45. Turrialba, Costa Rica. 139 p.

Muschler, R. G. 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. Agroforestry Systems 51(2):131-139.

Muschler, R. G. and A. Bonnemann. 1997. Potentials and limitations of agroforestry for changing land-use in the tropics: Experiences from Central America. Forest Ecology and Management 91(1):61-73.

Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. daFonseca and J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature 403:853-858. http://www.nature.com/nature/journal/v403/n6772/abs/403853a0.html#top [consultado el 20 de mayo de 2013].

Padilla, G. E. 2007. Estudio ecológico y etnobotánico de la vegetación del municipio de San Pablo Etla, Oaxaca. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca. Instituto Politécnico Nacional. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. 162 p.

Peeters, L. Y. K., L. Soto-Pinto, H. Perales, G. Montoya and M. Ishiki. 2003. Coffee production, timber and firewood in traditional and Inga-shaded plantations in Southern México. Agriculture, Ecosystems and Environment 95(2-3):481-493.

Phillips, O. L. 1996. Some quantitative methods for analyzing ethnobotanical knowledge. Advances in Economic Botany 10:171-198.

Pimentel, D., U. Stachow, D. A. Takacs, H. W. Brubaker, A. R. Dumas, J. J. Meaney, J. A. S. O'Neil, D. E. Onsi and D. B. Corzilius. 1992. Conserving biological diversity in agricultural/foresty systems. BioScience 42(5):354-362.

Reyes-García, V. y N. Martí S. 2007. Etnoecología: punto de encuentro entre naturaleza y cultura. Ecosistemas 16(3):46-55.

Reynoso-Santos, R., L. A. Jiménez C., G. Benavidez U., L. Soto P., M. Pérez F. y G. Flores G. 2009. Similitudes y diferencias entre el bosque y la sombra del cafetal en la reserva de la biosfera El Triunfo, Chiapas, México. Agricultura Sostenible 5(1):311-319.

Rojas, R. F., R. Canessa M. y J. Ramírez R. 2004. Incorporación de árboles y arbustos en los cafetales del Valle Central de Costa Rica. ICAFE/ITCR. 151 p.

Sánchez, O. 2005. Restauración ecológica: algunos conceptos, postulados y debates al inicio del siglo XXI. p. 15-19. *In*: Sánchez, O., E. Peters, R. Marquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (eds.). Temas sobre Restauración Ecológica. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Comité Trilateral Canadá, México y Estados Unidos, para la Conservación. México, D. F.

SARH (Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1982. Estudio promocional de 43 especies forestales tropicales mexicanas. Programa de Cooperación México-Yogoslavia. Subsecretaria Forestal y de la Fauna. México, D. F. 74 p.

Scherr, S. J. 2004. Building opportunities for small-farm agroforestry to supply domestic wood markets in developing countries. Agroforestry Systems 61(1):357-370.

Silva, G. J. A., F. J. Fuentes T., R. Rodríguez A., P. A. Torres A., M. G. Lomelí R., J. Ramos Q., C. Waitkus y H. G. Richter. 2010. Fichas tecnológicas y usos de maderas nativas de México e importadas. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Departamento de Madera Celulosa y Papel. Guadalajara, Jal., México. 207 p.

Soto-Pinto, L., I. Perfecto, J. Castillo-Hernández and J. Caballero-Nieto. 2000. Shade effect on coffee production at the northern tzeltal zone of the state of Chiapas, México. Agriculture, Ecosystems and Environment 80(1-2):61-69.

Soto-Pinto, L, B. H. J. de Jong, E. Esquivel-Bazán y S. Quechulpa. 2006 Potencial ecológico y econômico de captura de carbono em cafetales. p. 373-380. *In*: Jurgen, P. H. A., L. Soto, P. y J. Barrera (eds.). El Cafetal del Futuro: Realidad y Visiones. Shaker Verlag. Kohlscheid, Alemania.

Soto-Pinto L, V. Villalvazo-López, G. Jiménez-Ferrer, N. Ramírez M., G. Montoya y F.L. Sinclair. 2007. The role of local knowledge in determining shade composition of multistrata coffee systems in Chiapas, México. Biodiversity and Conservation 16(2):419-436.

Toledo, V. M. 2002. Ethnoecology: a conceptual framework for the study of indigenous knowledge of nature. p. 511-522. *In*: Ethnobiology and Biocultural Diversity. Stepp, J. R., F. S. Wyndham and K. Zarger R. (eds.). International Society of Ethnobiology. Athens, Georgia, USA.

Toledo, V. M. and P. Moguel. 2012. Coffee and sustainability: The multiple values of traditional shaded coffee. Journal of Sustainable Agriculture 36(3):353-377.

USDA (United States Department of Agriculture). 2012. Manejo de cafetales bajo sombra. Servicio de Conservación de Recursos Naturales: Área del Caribe. San Juan, Puerto Rico. 2 p. http://nac.unl.edu/documents/morepublications/FactSheetCafeSombra.pdf [consultado el 12 de mayo de 2013].

Vandermeer, J. H. and I. Perfecto. 1998. Biodiversity and pest control in agroforestry systems. Agroforestry Forum 9(2):2-6.

Vázquez-Yanes, C. y A. I. Batis M. 1996. La restauración de la vegetación, árboles exóticos vs árboles nativos. Ciencias (43)16-23.

Vejarano, G. M. 1991. Los grupos de amistad y trabajo: una estrategia metodológica para la transferencia de tecnología a pequeños cafeticultores en PROMECAFE. Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Tegucigalpa, Honduras. 28 p.

Wong, J. L. G. 2000. The biometrics of non-timber forest product resource assessment: A review of current methodology. United Kingdom Department for International Development (DFID). Forest Research Programme. Mynydd Llandygai, Bangor, U.K. 174 p.

Anexos

Anexo C. Índice de importancia cultural de especies arbóreas mencionadas en cinco regiones cafetaleras de la Zona Centro del Estado de Veracruz.

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	Región de mención	No. usos	Iu	Fm	Iu rel.	Fm rel.	Vu_{tz} rel.	IIC
Leguminosae	*Diphysa robinioides*	Quiebracho, izquihuite	3, 5	6	37.5	7	4.5	3.4	8.0	5.3
Leguminosae	*Inga* spp.	Chalahuite	Todas	4	25.0	16	3.0	7.9	3.8	4.9
Oleaceae	*Fraxinus uhdei*	Fresno	4, 5	5	31.3	7	3.7	3.4	7.2	4.8
Boraginaceae	*Cordia alliodora*	Xochitlcuahuitl	4,5	5	31.3	6	3.7	3.0	7.2	4.6
Meliaceae	*Cedrela odorata*	Cedro rojo	Todas	5	31.3	10	3.7	4.9	3.4	4.0
Leguminosae	No identificado	Guaje cimarrón	5	4	25.0	4	3.0	2.0	7.0	4.0
Leguminosae	*Inga jinicuil*	Jinicuil	2, 3, 4	5	31.3	11	3.7	5.4	2.5	3.9
Lauraceae	*Persea schiedeana*	Chinine, pahua	1, 2, 3, 4	4	25.0	12	3.0	5.9	2.4	3.8
Pinaceae	*Pinus chiapensis*	Pino	1,3	4	25.0	7	3.0	3.4	4.7	3.7
Platanaceae	*Platanus mexicana*	Haya	1, 4	4	25.0	6	3.0	3.0	4.6	3.5
Anacardiaceae	*Tapirira mexicana*	Cacao, bienvenido	2, 3, 4	5	31.3	10	3.7	4.9	1.8	3.5
Apocynaceae	*Aspidosperma megalocarpon*	Volador	3	5	31.3	5	3.7	2.5	4.2	3.5
Moraceae	*Ficus* spp.	Higuera	3	3	18.8	3	2.2	1.5	6.5	3.4
Leguminosae	*Leucaena leucocephala*	Guaje	5	5	31.3	5	3.7	2.5	3.3	3.2
Araliaceae	*Dendropanax arboreus*	Cucharo	4, 5	4	25.0	5	3.0	2.5	3.8	3.1
Ulmaceae	*Trema micrantha*	Ixpepe	1, 3, 4, 5	4	25.0	9	3.0	4.4	1.8	3.1
Ulmaceae	*Ulmus mexicana*	Zampalehua	4	2	12.5	2	1.5	1.0	6.4	2.9
Leguminosae	*Cojoba arborea*	Cañamazo, frijolillo	2, 4	5	31.3	7	3.7	3.4	1.6	2.9
Juglandaceae	*Juglans pyriformis*	Nogal	2, 4, 5	4	25.0	8	3.0	3.9	1.5	2.8
Lauraceae	*Ocotea puberula*	Alamanca	1, 2	4	25.0	7	3.0	3.4	1.2	2.5
Fagaceae	*Quercus* spp.	Tezmole	1, 4	3	18.8	6	2.2	3.0	1.6	2.3
Leguminosae	*Enterolobium cyclocarpum*	Nacaxtle	3, 4	3	18.8	6	2.2	3.0	1.1	2.1
Lauraceae	*Beilschmiedia anay*	Escalan, anayo	1, 2	3	18.8	6	2.2	3.0	1.0	2.1
No identificada		Duraznillo	2	4	25.0	4	3.0	2.0	1.1	2.0
Sapotaceae	*Pouteria sapota*	Mamey	1	4	25.0	4	3.0	2.0	0.8	1.9
Tiliaceae	*Heliocarpus appendiculatus*	Jonote real	4	2	12.5	2	1.5	1.0	3.2	1.9
Rosaceae	*Prunus serotina*	Capulín	2	2	12.5	2	1.5	1.0	3.2	1.9
Lauraceae	*Persea americana*	Aguacate	2	3	18.8	3	2.2	1.5	0.9	1.6
Hamamelidaceae	*Liquidambar styraciflua*	Liquidámbar	4	3	18.8	3	2.2	1.5	0.6	1.4
No identificada		Calabacillo	2	3	18.8	3	2.2	1.5	0.5	1.4
Leguminosae	*Schizolobium parahyba*	Duela	4	3	18.8	3	2.2	1.5	0.5	1.4
Sabiaceae	*Meliosma alba*	Quiaves	2	3	18.8	3	2.2	1.5	0.5	1.4
Ebenaceae	*Diospyros digyna*	Zapote negro	1	3	18.8	3	2.2	1.5	0.5	1.4
Malvaceae	*Robinsonella mirandae*	Manzanillo	5	2	12.5	2	1.5	1.0	0.4	1.0
Bignoniaceae	*Tabebuia donell-smithii*	Primavera	5	2	12.5	2	1.5	1.0	0.4	1.0
Bignoniaceae	*Tabebuia rosea*	Roble	5	2	12.5	2	1.5	1.0	0.4	1.0
Myrtaceae	*Pimenta dioica*	Pimienta gorda	5	1	6.3	1	0.7	0.5	0.3	0.5
Meliaceae	*Swietenia macrophylla*	Caoba	5	1	6.3	1	0.7	0.5	0.1	0.5
TOTAL				16			100	100	100	100

Iu rel: Intensidad de uso relativa, Fm rel: frecuencia de mención relativa, Vu_{tz} rel: valor de uso total relativo.
1=Atzalan; 2=Misantla; 3=Coatepec; 4=Huatusco; 5= Córdoba.

VIII. La finca como unidad de análisis en el manejo de cafetales bajo sistemas agroforestales (SAF-Café) locales

Rosalío López Morgado[1], Gabriel Díaz Padilla[2], Rafael Alberto Guajardo Panes[2]
[1] Investigador del Programa de Cultivos Industriales Perennes del INIFAP.
lopez.rosalio@inifap.gob.mx
[2] Investigador del Programa de Agrometeorología y Modelaje del INIFAP.

8.1. Introducción

El agroecosistema café manejado con sombra diversificada, conserva parte de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas boscosos que reemplazó. Entre las funciones de estos agroecosistemas, se destaca su valor en la conservación de la diversidad biológica como sitios de refugio para varias especies de plantas y animales, su papel moderador de escurrimientos e infiltración del agua de lluvia, almacenamiento de bióxido de carbono y conservación del suelo, al evitar la erosión de éste y propiciar la mejora de su fertilidad. Ante la importancia de tales interacciones bióticas-abióticas del SAF-Café y sus consecuentes beneficios ambientales, se enfatiza la necesidad de conservar este tipo de agroecosistemas como una opción contribuyente en la atenuación de la degradación de los recursos naturales en las regiones cafetaleras del país. Es importante considerar que, si bien la introducción del agroecosistema café bajo sombra ha modificado la distribución y frecuencia de las especies nativas, éste no ha sido tan perturbador del ambiente natural como otros usos del suelo (Ortiz y Pineda, 2008). Sin embargo, debido a que hace ya más de dos décadas que los precios internacionales del café, como materia prima, han presentado en general una tendencia a la baja y los costos de producción se han incrementado, el panorama socioeconómico y agrotécnico de la cafeticultura en las regiones productoras de México, es en sí mismo, una crisis prolongada (Ortiz *et al*., 2004), lo cual amenaza las bondades ambientales del cafetal sombreado, al tenerse como alternativa, entre los productores, el cambio de uso del suelo si no se ofrecen opciones viables de cultivo que impriman rentabilidad a la finca.

En el país existen regiones cafetaleras donde los campesinos han diseñado agroecosistemas diversificados que incluyen la coexistencia de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas con el cultivo de café (Moguel y Toledo, 2004); esto refleja el desarrollo de una agroforestería incipiente que se fundamenta en saberes campesinos (Budowski, 1993) en aspectos de usos, distribución y características de las especies arbóreas asociadas al cafetal (López *et al*., 2006), mismos que le han permitido efectuar un manejo eficiente de los cafetos y del nivel de sombreado en la finca. Sin embargo, aún son limitados sus conocimientos sobre el manejo silvícola de los árboles y su aprovechamiento (Muschler, 1999). Estos sistemas agrobiodiversos, manejados por pequeños productores, son menos vulnerables a situaciones de precios bajos del café (Cartay, 1999; Muschler, 1999). Bajo esta hipótesis, en el presente capítulo se tuvo como objetivo registrar información directa de los productores sobre los componentes estructurales de la finca de café, para la descripción de factores de productividad del agroecosistema y estimación de ingresos económicos en tres SAF-Café con elementos de diversificación productiva.

Las metodologías de diagnóstico para estos sistemas complejos deben comprender escalas de estudio que contemplen como último nivel la finca (Ramakrishna, 1997; Ávila, 1999). Para entender el sistema de producción de fincas, deberán clasificarse los diversos factores ambientales a los que responde el agricultor e identificar algunas fincas locales en las que esos factores estén expresados. Los factores básicos para el análisis, son suelo, clima y los datos de rendimiento de los cultivos; los objetivos y prioridades del agricultor, marcarán los términos en que debe enfocarse el análisis (Harwood, 1986). Por ello, como parte de la estrategia de generación de tecnología apropiada, los métodos participativos son esenciales en el proceso (Buckles y Tripp, 1993). En esta tesitura, la metodología utilizada fue el estudio de caso como una identificación de los hechos a través de la lógica del agricultor, generándose información cualitativa y cuantitativa. Los datos contenidos en la matriz resultante fueron procesados y analizados utilizando el análisis de componentes principales. Se distinguieron principalmente fincas diversificadas con productos para el mercado, adyacentes al café cereza, como plátanos, palma camedor y madera; se localizaron comunidades representativas de estos sistemas, estudiándose las formas de manejo de los cafetales en el ejido Maravillas, en la región de Tezonapa, Ver., al sur de la zona centro del estado. Las fincas en esta comunidad son manejadas bajo sistemas de alta diversidad, todo lo contrario a un sistema

especializado, tendiente a un "policultivo tradicional", donde sobresale la madera como un producto del cafetal, adyacente al café cereza, con valor de venta y de uso, así como el plátano. En las regiones de Atzalan y Misantla, al centro-norte del estado, se estudiaron las formas de producir café en las comunidades de Napoala, mpio. de Atzalan, Ver. y Plan de las Hayas, mpio. de Juchique de Ferrer, Ver., respectivamente. En Napoala sobresale el sistema "policultivo comercial" o policultivo simple, plátano-café. En Plan de las Hayas resalta el agroecosistema café, que involucra el cultivo de palma camedor *Chamaedorea elegans* en asociación con el cafetal. El manejo agroforestal de la cafeticultura en estas comunidades representa estrategias campesinas para resolver la situación de bajos precios del café.

En el proceso metodológico se ubicaron productores y sus cafetales, estimándose rendimientos de estos últimos en los productos cosechados con fines de mercado; los tres sistemas considerados, operaron con tasas de retorno positivas, diferenciándose por la agrobiodiversidad que caracteriza su estructura y los flujos de capital en sus procesos productivos.

8.2. Estudios de caso

En un estudio realizado por López *et al.* (2004), en cuatro regiones de la Zona Centro del Estado de Veracruz, a fin de cuantificar el grado de tecnificación en el manejo de fincas, se observó de manera general un nivel de tecnificación media. No obstante, los productores conocían las prácticas de manejo de los cafetales y la época en que éstas debían realizarse (López *et al.,* 2006). Se observó que la cantidad e intensidad de las prácticas, están más relacionadas con el precio del café o el total de ingresos que la finca le genera al cafeticultor, que con el desconocimiento de la tecnología de procesos de manejo de la plantación de café (López *et al*., 1999). Sin embargo, la productividad de la finca y el rendimiento bajo de café cereza son parte de los factores que definen el problema núcleo de la cafeticultura en México (López *et al*., 2013). Una forma de explicar el fenómeno de productividad y rentabilidad de los cafetales, es estudiándolos como casos, involucrando comunidades, productores y sistemas de producción, ya que el proceso metodológico más acercado a un fenómeno de estudio disperso y complejo, es el estudio de caso (Castro, 2010).

Aspectos metodológicos en los estudios de caso. Los estudios de caso pueden abordar escalas espaciales o bien conceptuales o de enfoque. En la fase de intervención se trata de escuchar e indagar nuevas formas de abordar el proceso, y no de formular preguntas precisas (Quivy y Campenhoudt, 1990). Posterior a la información de tipo técnico y social-histórico, obtenida con las entrevistas exploratorias, se realiza el trabajo cartográfico, que permite mayor dominio del conocimiento de la comunidad o donde se dé el fenómeno a estudiar, en el ámbito territorial. En este nivel de estudio, es posible pasar a la realización del Taller Rural Participativo a fin de crear un escenario en el ámbito de la comunidad para producir, analizar e intercambiar puntos de vista sobre una temática programada (GEA A.C., 1993).

Desde una perspectiva local se estudia el manejo de los agroecosistemas a nivel de fincas, donde la información registrada corresponde al esfuerzo de un individuo o núcleo familiar en el uso de los recursos naturales para la producción de cosechas (Ramakrishna, 1997), ya sea con fines de auto abasto o de mercado, y generalmente mediante sistemas diversificados.

Las particularidades del método del estudio de caso, son: 1. Estudia intensivamente un sujeto o situación única, 2. Permite comprender a profundidad lo estudiado, 3. Sirve para planear investigaciones más extensas, y 4. No sirve para hacer generalizaciones. El estudio de caso intenta centrase en los rasgos profundos y las características del suceso que se está estudiando y buscar “profundidad” más que “amplitud” de la cobertura; está orientado más al proceso que al producto y detalla descripciones, interpretaciones, explicaciones y narraciones, trabajando más para la comprensión que para la medición, la predicción y el control científico (Tamayo, 1994).

A veces se estudian casos únicos o varios casos que explican al fenómeno estudiado como caso, donde a medida que cada caso avanza, los datos sucesivos se hacen predecibles, generándose lo que Craig (1990) considera como saturación del fenómeno, lo cual es una situación indicadora de suficiencia del número de casos.

8.3. Proceso metodológico: la finca como unidad de análisis de SAF-Café

Mediante estudios de caso se analizaron tres sistemas a nivel de finca, ubicado cada uno en comunidades de regiones diferentes, realizándose registros de variables correspondientes al estado de la fertilidad del suelo, de la agrobiodiversidad a nivel enumerativo y una estimación, mediante muestreos, del rendimiento de las especies que aportan productos para el mercado. Consultando a los productores se obtuvo información acerca de sus costos e ingresos en el proceso operativo y productivo de sus fincas. Así, el llevar a cabo el estudio en cafetales manejados bajo un mismo sistema a nivel comunidad, implicó tres comunidades en tres diferentes regiones, donde la región comprendió el sistema de producción abordado, por lo que el estudio de caso profundizó en detalle los sistemas de producción, minorizándose la cobertura de los resultados (Yacuzzi, 2005).

Los sistemas de producción de café en la ZCEV. Los sistemas que se observan con mayor frecuencia en la ZCEV, según lo reportado por Escamilla y Díaz (2002), son: 1. El "policultivo tradicional" en sus variantes de tradicional o comercial, el primero complejo y el segundo simple en cuanto al número de especies que los conforman; éstos son cafetales bajo sombra en cuya composición existe una diversidad de especies vegetales que incluye elementos de la vegetación primaria, de la sucesión secundaria y árboles introducidos, además de especies agrícolas, sobre todo frutales arbóreos y plátanos, 2. El "natural o de montaña", en el cual se aprovecha el estrato arbóreo de la vegetación nativa para plantar en el sotobosque tanto café como palma camedor, y 3. El "especializado", practicado por medianos y grandes productores, en el que la vegetación arbórea de sombreado es monoespecífica, principalmente a base de leguminosas del género *Inga*.

En las tres comunidades se contemplaron tres fincas por sistema de producción, registrándose información acerca de los productores, el cafetal, componentes del sistema, procesos productivos y condiciones físico-químicas del suelo en todos los casos. El diagrama de flujo metodológico se presenta en la Figura 8.1.

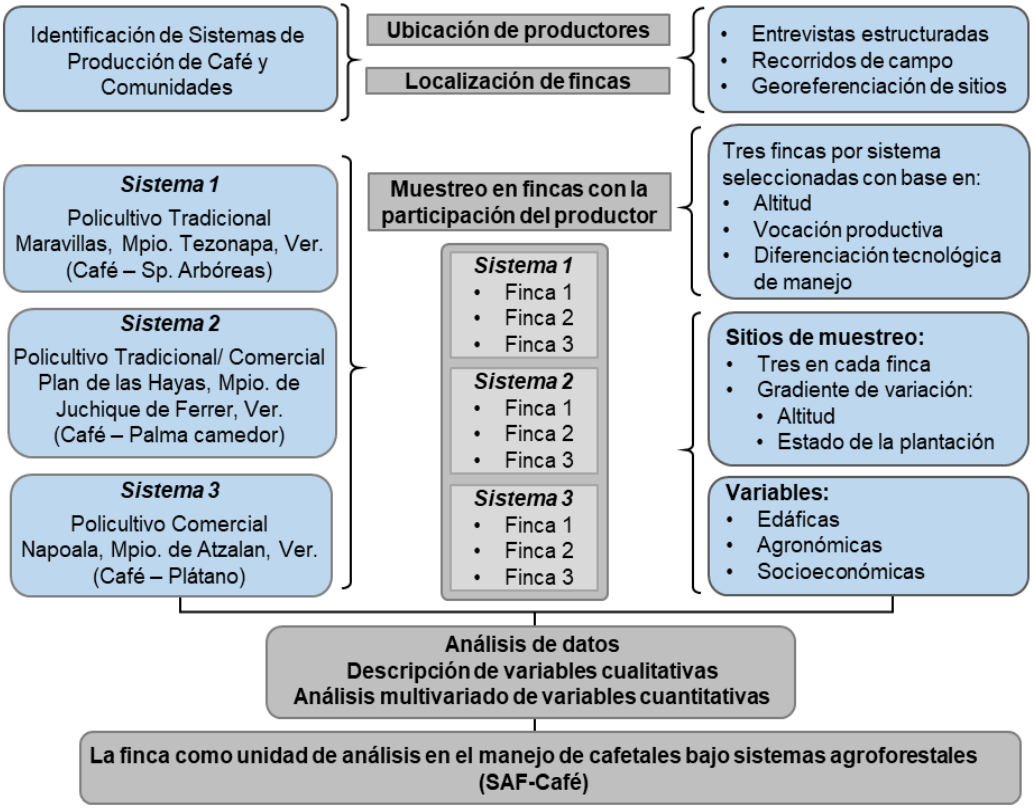


Figura 8.1. Flujo metodológico para describir a nivel de finca SAF-Café.

Variables consideradas. En campo, conforme al método indicado por Sánchez (1990), se estimó el rendimiento de café. Los rendimientos de las especies asociadas con productos para fines de mercado, se estimaron conforme a criterios de los productores participantes. Para las especies arbóreas de sombreado, tanto maderables como frutales o de otros usos, se hizo un registro por sitio de muestreo a nivel enumerativo. El tamaño de muestra para obtener datos sobre estas variables fue de 300 m^2, variando en dos ocasiones a un poco menos de 200 m^2, debido a condiciones del terreno o del sistema. También se tomaron muestras de suelo para su análisis físico-químico y estimar el nivel de fertilidad de las fincas. La información sobre el nombre común de las especies presentes en los sitios de muestreo, calendograma de actividades, costos de producción e ingresos por venta de productos cosechados, fue obtenida mediante entrevista directa con los productores participantes.

Análisis económico de resultados. Para el análisis financiero de los sistemas de producción de café, se utilizó la función de la Tasa de Retorno (TR) al capital invertido, la cual emplea el Ingreso Bruto (IB), los Costos de Producción (CP) y el Ingreso Neto (IN), como términos económicos. Con lo anterior se genera la relación costo-beneficio expresada en porcentaje, para indicar la proporción de retorno, con respecto a la inversión involucrada. La función matemática es como sigue: TR= [(IN/CP) (100)], donde IN= IB-CP.

Análisis estadístico. En el programa Excel se creó una base de datos ordenada en un arreglo 3 x 3 x 3 (tres sistemas, tres fincas, tres sitios de muestreo por finca), generándose una matriz con 27 variables independientes (casos) y 51 variables dependientes. En un inicio fueron contempladas el mayor número de variables que pudieran tener relación con el tema bajo estudio, por lo que una acción inicial fue reducir la cantidad de variables; en esto, el análisis de componentes principales (ACP) es una técnica importante como parte de los métodos multivariados, ya que los componentes principales son una combinación lineal de las variables originales (Guajardo, 1999). Lo interesante de esta técnica estadística radica precisamente en el reemplazo de grupos de variables por componentes principales (Espinosa, 1994). Para efectuar el análisis multivariado, en los espacios con ausencia de observación en la matriz de datos, se colocó el número cero, efectuándose dicho análisis con el paquete estadístico Statistica (Ver. 8.0) con la opción de análisis de componentes principales.

8.4. Localización y atributos de los casos de estudio

Las comunidades abarcadas en los estudios de caso fueron: 1. Maravillas, municipio de Tezonapa, Ver., en donde se estudió el policultivo tradicional café-maderables-plátano, 2. Plan de las Hayas, municipio de Juchique de Ferrer, Ver., donde se analizó el policultivo tradicional café-palma camedor, y 3. Napoala, municipio de Atzalan, Ver., en la cual se trabajó con el policultivo comercial café-plátano. Las comunidades están ubicadas dentro de las regiones productoras de Tezonapa, Misantla y Atzalan, respectivamente, dentro de la ZCEV.

Café-maderables-plátano. La comunidad de Maravillas cuenta con cafetales tanto de la especie *C. canephora* var. *robusta*, como variedades de la especie *C. arabica*. La altitud promedio del ejido es de 600 m, cuyo intervalo va de los 130

hasta los 1,200 m. Su ubicación está entre los 18° 33' 35" y los 18° 35' 24" de latitud norte y entre los 96° 44' 24" y los 96° 46' 12" de longitud oeste. El policultivo tradicional café-maderables-plátano, tiene su fundamento en el aprovechamiento y eficacia de la mano de obra familiar; por ejemplo, al limpiar la finca, los cafetos se podan ligeramente, las ramas bajas de los árboles son cortadas a fin de regular la sombra, a la vez que se deshoja y quitan pecíolos secos adheridos al pseudotallo del plátano, práctica conocida como "destule". Durante estas actividades se va induciendo la regeneración natural de las especies arbóreas, y se decide cuáles especies dejar y el espacio que deben ocupar. El manejo de la finca se limita al control de la maleza, algunas prácticas en las especies asociadas y la cosecha de productos. Los principales productos son café, plátano y madera.

Café-palma camedor. Plan de la Hayas se localiza a los 19° 45' 35" de latitud norte y 96° 40' 32" de longitud oeste, presentando una altitud promedio de 1,040 m, cuyo gradiente va de los 839 a los 1,825 m. El potencial productivo tanto para café como para palma camedor es mediano. Desde los años 60, sus habitantes se dedicaron al cultivo de café, con sombra de la vegetación nativa, dando paso poco a poco a las primeras fincas de café con sombra de chalahuite o vainillo (*Inga* spp.). Sin embargo, con la crisis de precios del café, a partir de finales de los años 80, este sistema de producción dejó de ser rentable en sistemas familiares, originándose dos alternativas: cambio de cultivo o de uso del suelo (ganadería), o la diversificación productiva de la finca de café; para esto último, la opción más frecuente e innovadora fue el cultivo de palma camedor bajo la sombra de los cafetales. El policultivo tradicional café-palma camedor produce frondas, hojas grandes con numerosos foliolos, para un mercado exigente de alta calidad en tamaño, intensidad de color, ausencia de manchas y cero daños físicos (plagas). El manejo de los árboles se limita a su selección por especie, y al corte de algunas ramas como regulación del sombreado.

Café-plátano. Napoala se asienta casi al centro de la región productora de Atzalan, con potencial productivo de mediano a excelente para café y mediano para plátano. Su localización está a los 19° 54' 21" de latitud norte y 97° 13' 08" de longitud oeste, presentando una altitud promedio de 700 m, cuyo gradiente va de los 320 a los 816 m. Además de practicarse el policultivo comercial café-plátano, recientemente se han establecido plantaciones forestales con la especie nativa de pino (*Pinus chiapensis*), en asociación con el cafetal. Cuando

los precios del café caen, se intensifican las labores hacia el plátano, y la atención al café casi desaparece. Las fincas cuentan con algunas especies arbóreas nativas que crecen de manera natural dentro del agroecosistema; entre ellas, destacan el pino (*P. chiapensis*), el cedro (*C. odorata)* y la pimienta gorda *(P. dioica*). El manejo que los productores hacen en cada uno de los SAF-Café puede inferirse a partir de la mano de obra empleada y el monto de la inversión en insumos, lo cual se muestra en el Cuadro 8.1.

CUADRO 8.1. JORNALES E INVERSIÓN EN INSUMOS POR HECTÁREA EMPLEADOS POR LOS PRODUCTORES EN LOS SAF-CAFÉ.

CULTIVO	ACTIVIDAD	TRADICIONAL		TRADICIONAL-COMERCIAL		COMERCIAL	
		Jornal	Insumo ($)	Jornal	Insumo ($)	Jornal	Insumo ($)
Café	Limpia, poda y regulación de sombra	20	0	26	0	16	91
	Fertilización	0	0	0	0	10	3532
	Cosecha	48	0	115	0	176	0
Plátano	Cajeteo, deshoje, deshije y limpia	**5**	0	0	0	8	0
	Fertilización	0	0	0	0	4	2210
	Control de plagas y enfermedades (embolsado)	0	0	0	0	5	2331
	Cosecha	11	0	0	0	40	0
Palma Camedor	Limpia, regulación de sombra, control de plagas y enfermedades fertilización, y cosecha	0	0	42	237	0	0
Árboles	No hay manejo silvícola (actividades incluidas en el manejo del café)	0	0	0	0	0	0
Total de jornales o insumos (ha^{-1} $año^{-1}$)		**84**	**0**	**183**	**237**	**259**	**8164**

Nota: El café se pagó a $1.5/ kilogramo de café cereza cortado; el monto por jornal es de $70.00. Un jornal corta alrededor de 250 kilogramos de plátano o 12 gruesas de palma camedor. El comprador de hoja de plátano, corta y hace los rollos él mismo.

El policultivo tradicional café-maderables-plátano emplea un estimado de 84 jornales para el manejo del agroecosistema, 57% en la cosecha de café, en un nivel de operación propio de economías campesinas, contemplándose el hecho de que la rentabilidad del cafetal se eficientiza y estabiliza minimizando la inversión (Cartay, 1999; Muschler, 1999). En el policultivo tradicional café-palma

camedor también sólo cosechan, limpian y podan, adicionando las prácticas específicas que demanda la palma, minimizándose, en forma similar, la inversión en todo lo posible. El proceso productivo del sistema requiere 183 jornales, de los cuales casi el 63% están dirigidos a la cosecha del fruto de café. Por otro lado, el sistema de producción de café: policultivo comercial café-plátano, es más insumista, y el número de jornales empleado es de 259, de los cuales el 83% es empleado en la cosecha de productos.

Estrato de sombreado en los sistemas. El Cuadro 8.2 presenta un listado de especies en los SAF-Café tradicionales, observadas en los sitios de muestreo. La masa arbolada en los policultivos tradicionales presenta en su listado una especie introducida en Maravillas: la melina y dos en Plan de las Hayas: melina y grevilea.

En el policultivo comercial café-plátano de Napoala, la presencia de árboles es escasa porque el sombreado al cafetal lo hacen los plátanos; sin embargo, se observaron especies forestales arbóreas de la vegetación nativa como cedro (*Cedrela odorata*) (cuatro individuos), majo (*Diphysa robinioides*) (dos individuos) y pino (*Pinus chiapensis*) (ocho individuos). Asimismo, las especies frutales arbóreas fueron aguacate (*Persea americana*), chinini (*Persea schiedeana*), guayabo (*Psidium guajava)* y cítricos (*Citrus* spp.).

El sistema café-plátano, se caracteriza por un mayor uso de insumos debido a la aplicación de herbicidas en el control de la maleza, y agroquímicos para contrarrestar los daños ocasionados al plátano por la sigatoka, enfermedad causada por el hongo *Mycosphaerella musicola*. Al aplicar herbicidas, muchos de los arbolitos de la regeneración natural arbórea son dañados severamente, a tal grado que ya no crecen, o si lo hacen es de manera deforme, o simplemente mueren. Tanto el café como el plátano mueven la economía local, ya que existe una demanda alta de mano de obra para labores de cultivo y de postcosecha. En general, este sistema se diferencia de los tradicionales por la baja densidad de árboles en las fincas.

CUADRO 8.2. ESPECIES FORESTALES Y FRUTALES ARBÓREAS EN SAF-CAFÉ EN SU MODALIDAD DE POLICULTIVO TRADICIONAL.

EJIDO MARAVILLAS	PLAN DE LAS HAYAS
ESPECIES FORESTALES	
Amargoso *Vatairea lundellii* (Standl.) Killip ex Record	Aguacate *Persea americana* Mill.
Cañamazo *Cojoba arborea* (L.) Britton & Rose	Aguacatillo *Ocotea puberula* (Rich.) Nees
Canilla de venado *Cupania dentata* DC.	Bienvenido *Tapirira mexicana* Marchand
Cedrillo *Guarea glabra* Vahl	Capulín tentepo *Prunus tetradenia* Koehne
Cedro rojo *Cedrela odorata* L.	Cedro rojo *Cedrela odorata* L.
Chalahuite o vainillo *Inga vera* Willd.	Chalahuite *Inga vera* Willd.
Farolillo *Hernandia wendtii* Espejo	Encino *Quercus oleoides* Schltdl. & Cham.
Gateado *Astronium graveolens* Jacq.	Frijolillo *Cojoba arborea* (L.) Britton & Rose.
Guarumbo *Cecropia obtusifolia* Bertol.	Grevilea *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br.
Huele de noche *Cestrum nocturnum* L.	Guacamayo *Cupania dentata* DC.
Jobo *Spondias mombin* L.	Guaje *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit
Jonote *Heliocarpus appendiculatus* Turcz.	Huesillo
Manzanillo *Robinsonella mirandae* Gómez Pompa	Huevo de gato *Stemmadenia donnell-smithii* Rose (Woodson)
Manzano *Zuelania guidonia* (Sw.) Britton & Millsp.	Higuera *Ficus cotinifolia* Kunth
Melina *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm.	Ixpepe *Trema micrantha* L. (Blume)
Nazareno *Simira salvadorensis* (Standl.) Steyerm.	Jinicuil *Inga jinicuil* Schltdl. & Cham. Ex G. Don.
Picho *Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F. Blake	Jonote *Heliocarpus appendiculatus* Turcz.
Pompo o apompo *Brosimum alicastrum* Sw.	Laurelillo
Primavera *Tabebuia donnell-smithii* Rose	Malhombrillo
Rabo lagarto *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson	Melina *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm.
Sangregado *Pterocarpus rohrii* Vahl	Nogal *Juglans pyriformis* Liebm.
Tempesquistle *Sideroxylon persimile* (Hemsl.) Penn.	Pahua *Persea schiedeana* Ness
Tepetomate *Pseudolmedia oxyphyllaria* Donn. Sm.	Tecolixtle *Hampea nutricia* Fryxell
Tintillo *Cordia collococca* L.	Tepehuaje *Lysiloma acapulcense* (Kunth) Benth.
Xochitlcuahuitl *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken	Tepetomate *Pseudolmedia oxyphyllaria* Donn. Sm.
ESPECIES FRUTALES	
Chinini *Persea schiedeana* Ness	Cachichín *Oecopetalum mexicanum* Greenm. & Thomps.
Chirimoya *Annona cherimola* Mill.	Durazno *Prunus persica* (L.) Batsch
Jobo *Spondias mombin* L.	Guayabo *Psidium guajava* L.
Limón dulce *Citrus* x *limonia* (L.) Osbeck	Limón dulce *Citrus* x *limonia* (L.) Osbeck
Mamey *Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn	Naranjo *Citrus sinensis* (L.) Osbeck
Mandarina *Citrus nobilis* Lour.	Plátano *Musa paradisiaca* L.
Naranjo *Citrus sinensis* (L.) Osbeck	Pomarrosa *Syzygium jambos* (L.) Alston
Guayabo *Psidium guajava* L.	Zapote domingo *Mammea americana* L.

Niveles de fertilidad del suelo en los SAF-Café. En los ecosistemas tropicales, los nutrientes minerales y el material orgánico, están contenidos principalmente en la biomasa vegetal. En el bosque templado, el 93% de los nutrientes requeridos por las plantas se encuentran almacenados en el suelo, mientras que en el bosque tropical el 90% están almacenados en la vegetación (CCNDS, 2004).

El nivel de la fertilidad del suelo, se ubicó de medio a rico en los tres sistemas, mostrándose en mayor intensidad en el policultivo café-palma camedor. Esto se explica al considerar los volúmenes de aporte de biomasa al suelo y la densidad de la cobertura vegetal de cada uno de los sistemas. La textura fue franca en el policultivo tradicional en un leptosol, y franco arenoso en el tradicional (café-palma camedor) y comercial (café-plátano) situados en suelos tipo andosol. Los valores del pH, indicaron un suelo medianamente ácido para los policultivos tradicionales, lo cual puede deberse a una menor lixiviación de bases, por el papel moderador de los árboles en la infiltración y escurrimientos del agua de lluvia. Esto no ocurre a los mismos niveles con el sistema café-plátano, cuyo nivel fue fuertemente ácido. Asimismo, los porcentajes de materia orgánica variaron de 2 a 3.3, siguiendo el gradiente de menor a mayor densidad de árboles en los sistemas, lo que se explica por una mayor intensidad de manejo y extracción de volúmenes de cosechas.

En el Cuadro 8.3, se muestran los valores para ocho variables edáficas en los tres sistemas de producción de café bajo estudio. A los valores obtenidos, se les asignó una escala de categorización tanto nominal como ordinaria, lo que permitió asignar una calificación conjunta de nivel de fertilidad por sistema, al promediar la escala numérica.

CUADRO 8.3. ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO DE TRES SAF-CAFÉ.

VARIABLES	FINCAS	TRADICIONAL (CAFÉ-MADERA-PLÁTANO)			TRADICIONAL (CAFÉ-CAMEDOR)			COMERCIAL (CAFÉ-PLÁTANO)		
		VALOR	NIVEL	E[&]	VALOR	NIVEL	E[&]	VALOR	NIVEL	E[&]
Textura	1	Franco			Franco Aren.			Franco Aren.		
	2	Franco			Franco Aren.			Franco Aren.		
	3	Franco			Franco Aren.			Franco Aren.		
pH	1	5.89	Medio ácido		5.35	Medio ácido		4.98	Fuerte ácido	
	2	5.51	Medio ácido		5.40	Medio ácido		4.58	Fuerte ácido	
	3	5.84	Medio ácido		5.94	Medio ácido		4.52	Fuerte ácido	
MO (%)	1	0.91	Pobre	2	2.70	Rico	4	0.87	Pobre	2
	2	1.32	Pobre	2	2.39	Rico	4	1.24	Pobre	2
	3	4.90	Ext. Rico	5	1.08	Pobre	2	1.39	Pobre	2
NI (ppm)	1	30.80	Rico	4	5.37	Ext. Pobre	1	23.23	Medio	3
	2	15.40	Pobre	2	2.33	Ext. Pobre	1	26.37	Medio	3
	3	14.20	Pobre	2	25.43	Medio	3	46.67	Rico	4
P (ppm)	1	5.90	Medio	3	24.24	Ext. Rico	5	3.61	Pobre	2
	2	5.30	Medio	3	27.24	Ext. Rico	5	1.53	Pobre	2
	3	14.62	Ext. Rico	5	35.55	Ext. Rico	5	3.54	Pobre	2
K (ppm)	1	292.67	Rico	4	124.33	Rico	4	607.67	Ext. Rico	5
	2	136.41	Rico	4	386.33	Rico	4	275.67	Rico	4
	3	412.67	Rico	4	340.00	Rico	4	237.33	Rico	4
Ca (ppm)	1	7628.67	Ext. Rico	5	8252.67	Ext. Rico	5	6312.67	Ext. Rico	5
	2	5105.33	Ext. Rico	5	6232.00	Ext. Rico	5	4342.00	Ext. Rico	5
	3	6626.00	Ext. Rico	5	9181.33	Ext. Rico	5	2813.58	Rico	4
Mg (ppm)	1	250.67	Medio	3	1030.33	Ext. Rico	5	931.00	Ext. Rico	5
	2	349.33	Medio	3	699.33	Rico	4	547.33	Rico	4
	3	241.33	Medio	3	930.67	Ext. Rico	5	204.05	Medio	3
Nivel promedio de Fertilidad			Medio a Rico	3.6		Medio a Rico	3.9		Medio a Rico	3.4

[&] =Escala.

8.5. Caracterización y rentabilidad de tres SAF-Café

La cafeticultura nacional se identifica con el sistema de café bajo sombra con un rendimiento promedio en el país de 2.66 toneladas de café cereza por hectárea (10.6 Qq ha^{-1}). Cuando se consideran los estratos de productores en función del tamaño de la unidad de producción, el grupo de grandes productores de más de 20 ha, tienen rendimientos de 30 Qq ha^{-1}, mientras que las pequeñas unidades de producción (<5 ha) apenas promedian 8.5 Qq ha^{-1} (Santoyo *et al*., 1995).

En la Zona Centro del Estado de Veracruz, considerando cuatro regiones productoras y donde el tamaño promedio de las fincas es de 3 ha, el rendimiento promedio que se logra obtener es de 11.7 Qq ha^{-1} (2.9 t de café cereza ha^{-1}) (López *et al*., 2004). En unidades de producción con superficie promedio de 6.8 ha, de las cuales 2.8 ha son dedicadas al cultivo de café, pertenecientes a socios de la cooperativa COOCAFÉ de Costa Rica, en sistemas de café bajo sombra, se cosechan 29.5 Qq ha^{-1} (FUNCAFOR, 2007). En las fincas de los productores participantes los rendimientos coinciden con lo reportado para México y la Zona Centro del Estado de Veracruz, variando los rendimientos dentro de sistemas y entre sistemas de 3 a 4.7 toneladas por hectárea.

Rendimiento de café y productos adyacentes dentro del sistema

En las diferentes culturas, la biodiversidad ha presentado un cambio continuo a través del tiempo; cruzamientos espontáneos o provocados, son fuente de numerosas variedades, clones y ecotipos de plantas y razas de animales, adaptados a diferentes ambientes y requerimientos culturales y productivos. A este proceso y situación se le llama biodiversidad culturalmente creada o agrobiodiversidad (Boege, 2002). En los cafetales conviven una gran variedad de especies en los diferentes estratos que bien puede denominarse como la agrobiodiversidad de las fincas, misma que confiere mayor productividad a los cafetales. Así, en un sistema de cultivo múltiple como son los SAF-Café, no se tiene como objetivo maximizar rendimientos, sino hacer un aprovechamiento óptimo de uso del suelo y de la mano de obra, incorporando una importante agrobiodiversidad por parte de los agricultores a su plantación (Krishnamurthy y Rajagopal, 2002), para obtener variedad de productos, distribución de la demanda de mano de obra y productos en diferentes épocas del año entre

otros. Como resultado de factores socioeconómicos y biofísicos, el café es cultivado bajo diversos sistemas de producción, que comprenden desde los sistemas tradicionales bajo sombra diversificada, hasta los sistemas modernos de monocultivo o bajo sombra especializada (Perfecto *et al*., 1996; Beer *et al*., 1998; Moguel y Toledo, 1999). Los sistemas tradicionales de producción de café tales como: el sistema rústico, policultivo tradicional y policultivo comercial, entre otros, se basan en una estrategia de aprovechamiento integral de recursos locales, donde el pequeño cafeticultor maneja agroecosistemas complejos con interacciones mutuas entre las especies que lo componen y su entorno (Hart, 1979), y la racionalidad del manejo lo regulan las condiciones socioeconómicas y culturales locales. Estos sistemas se desarrollan en pequeñas superficies de producción, donde por lo general emplean mano de obra familiar y el ingreso económico no sólo depende de la producción de café, sino también de los beneficios obtenidos del componente de la sombra diversificada que contempla frutales, plantas medicinales y aromáticas, maderables y de usos ceremoniales entre otros (Escamilla y Díaz, 2002; Escamilla, 2007). Los componentes de los SAF-Café bajo estudio, así como sus rendimientos o densidad de individuos se indican en el Cuadro 8.4, en función de fincas consideradas en tres estudios de caso.

Los rendimientos de palma camedor son bajos, debido a que es una estrategia de cultivo asociada con el cafetal relativamente nueva y falta tecnología, en cuanto a calidad de luz, en términos de intensidad y especies de sombreado. También las densidades de población son bajas y el costo del cultivo hace que los espacios plantados con palma en el sotobosque del cafetal, raramente lleguen a más de media hectárea. Rendimientos máximos mencionados por productores, son de 1,000 gruesas por hectárea (144 hojas gruesa^{-1}); Gutiérrez *et al.* (1999), estimaron que 50,000 plantas por hectárea con seis cortes por año producen 2,080 gruesas; sin embargo, las densidades posibles de camedor en fincas de café ya establecidas, difícilmente alcanzan más de 20,000 palmas ha^{-1}, como lo muestran los datos de densidad en el policultivo tradicional de Plan de las Hayas, donde se observaron densidades máximas de 22,000 plantas ha^{-1}. Por su parte, rendimientos de café por arriba de las 3 t ha^{-1}; propician el punto de equilibrio de este producto del agroecosistema.

El plátano tiene rendimientos aceptables como cultivo asociado al cafetal. Sepúlveda *et al.* (2001), mencionan que el plátano es el cultivo asociado con más

frecuencia a los cafetales en Quindío, Colombia, en tal forma que la zona cafetera colombiana es la mayor productora de plátano en el país, con rendimientos de alrededor 9.2 t ha^{-1} (Moreno *et al.*, 2005). En el policultivo comercial en referencia, los rendimientos esperados son de alrededor de 10 t ha^{-1} de fruta en la comunidad de Napoala. Si se deja de producir fruta, al optar por la producción de hoja en rollo (RH), los beneficios económicos guardan la misma proporción. En el policultivo tradicional las densidades, condiciones del terreno y situación de alta marginalidad, no permiten rendimientos altos.

CUADRO 8.4. DENSIDADES DE POBLACIÓN Y RENDIMIENTO DE LAS PRINCIPALES ESPECIES DE TRES SAF-CAFÉ EN POLICULTIVO.

FINCA	CAFÉ			PLÁTANO			PALMA CAMEDOR		ÁRBOLES
	ESPECIE	MATAS ha^{-1}	REND. t ha^{-1}	TIPO	MATAS ha^{-1}	REND. t ha^{-1}	R. H.& ha^{-1}	INDIV. ha^{-1}	GRUESAS&& ha^{-1}	INDIV. ha^{-1}
P. TRADICIONAL: CAFÉ-ESPECIES ARBÓREAS (MARAVILLAS, TEZONAPA, VER.)										
1	Arábico	1767	2.77	Roatán	222	3.34		844		455
	Robusta	433	0.57	Dominico	133	1.20				
				Morado	133	1.86				
2	Arábico	1263	1.70	Roatán	221	1.87		78		500
	Robusta	333	0.90							
3	Arábico	2233	2.80	Roatán	266	2.19		177		500
	Robusta	666	0.55							
$\overline{x}$	Arábico	1754	2.42	Roatán	236			366		485
	Robusta	477	0.67	Dominico	133					
				Morado	133					
P. TRADICIONAL: CAFÉ-PALMA CAMEDOR (PLAN DE LAS HAYAS, J. DE FERRER, VER.)										
1	Arábico	2444	3.43	Roatán				20878	362	685
2	Arábico	2555	5.38	Dominico				22665	472	630
3	Arábico	2588	4.74	Morado				20177	350	375
$\overline{x}$		2529	4.52					21240	395	547
P. COMERCIAL: CAFÉ-PLÁTANO (NAPOALA, ATZALAN, VER.)										
1	Arábico	2000	7.05	Dominico	954	10.05				
2	Arábico	3566	5.84	Dominico	750	5.04	306			66
3	Arábico	1222	1.17	Morado	843	11.25	19			176
$\overline{x}$	Arábico	2783	4.69	Dominico	852	7.55	306			
				Morado	843	11.25	19			

&: Rollos de hojas de plátano (un rollo consta de 50 hojas). &&: Una gruesa equivale a 144 frondas (hojas).

Costos de producción e ingresos netos

Investigaciones afirman que existe poca diferencia entre los costos de producción de café en sistemas asociados y en cultivo especializado; sin embargo, los mayores ingresos netos se obtienen en los sistemas asociados (Moreno *et al*., 2005). En los casos que se estudian, la información proporcionada por los productores permitió generar variables que estimaron costos e ingresos por sistema, en función al caso de cada finca. La Figura 8.2 muestra el costo y el ingreso que el productor logra en su finca.

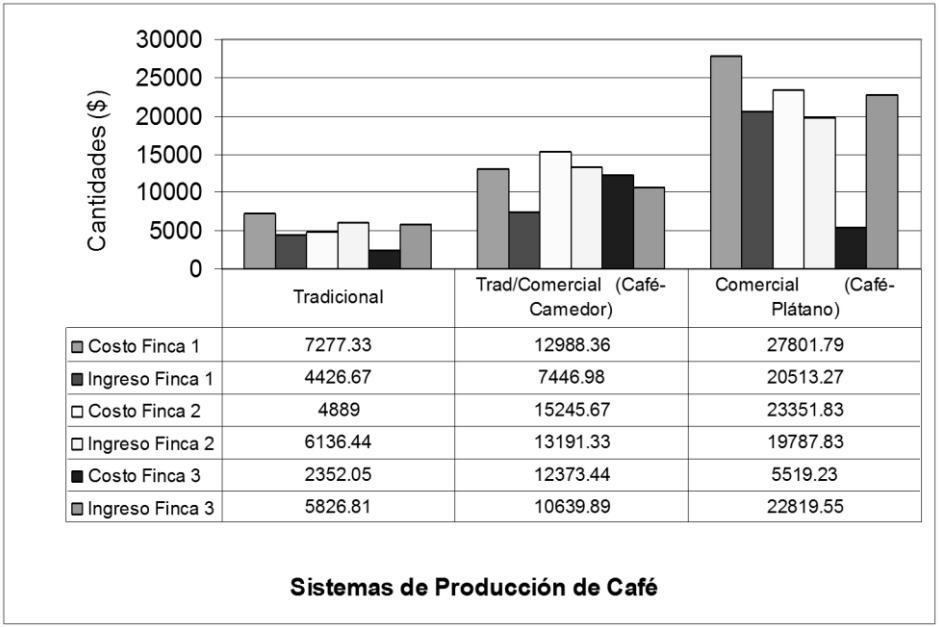


Figura 8.2. Concentrado de costos de producción e ingresos netos por sistema en cada finca de café.

De esta forma, los costos intermedios entre sistemas se dan en el sistema café-palma camedor con 64.3% más que en el policultivo tradicional y 39.5% menos que en el sistema café-plátano. En la Figura 8.3 se muestran las tasas de retorno alcanzadas por cada finca en cada sistema.

El sistema policultivo tradicional café-árboles, aprovecha los claros del agroecosistema para cultivar plátano principalmente, o plantar árboles

nuevamente. Dentro de este sistema, en la Finca 1 se observa como los costos de $7,277.33 forman una inversión que genera $4,426.60 como ingreso neto; la relación costo-beneficio de estos datos, forma una tasa de retorno del 60.8%. La Finca 2 con una inversión de $4,889.00 genera $6,136.40 como ingreso neto, logrando una tasa de retorno de 125.5%. Por último, la Finca 3 de este sistema con producción de cafés arábica y robusta obtiene una tasa de retorno de 216.4%; los agroecosistemas más arbolados con menor manejo agrícola y mayor biodiversidad, reflejaron tasas de retorno más altas.

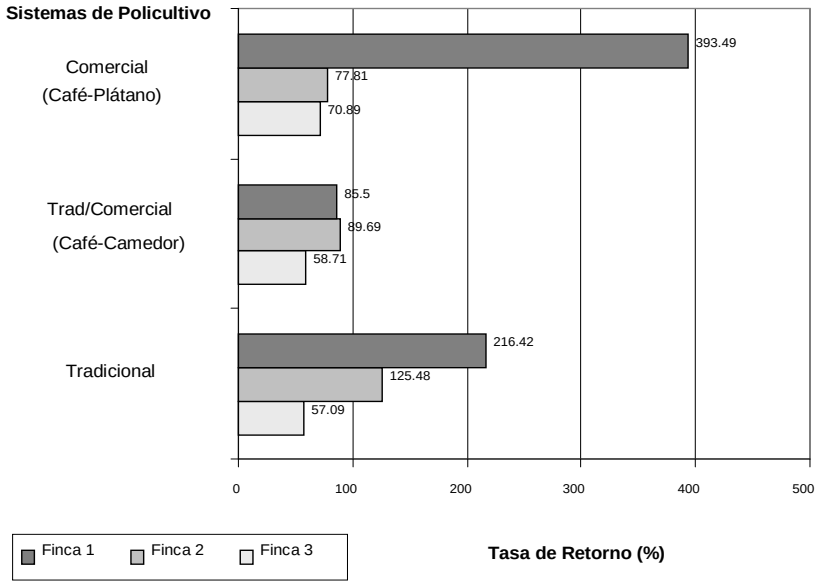


Figura 8.3. Tasas de retorno mostradas por las fincas de cada sistema en las regiones correspondientes.

La producción de café en un policultivo tradicional con tendencia a intensificar el cultivo de palma camedor en el sotobosque de la finca, mostró tasas de retorno similares, reflejándose más tal similitud entre las Fincas 2 y 3. La Finca 1 es de difícil acceso, situada en terrenos marginales y con costos altos por acarreo de frondas. Las Fincas 1 y 3 son parecidas en manejo de la palma camedor, mientras que en la Finca 2, el logro de calidad de frondas se obtiene cosechando mes con mes, manteniendo siempre aclarado el dosel de las palmas y propiciando la circulación de aire en el sotobosque, además de hacer un control de plagas y enfermedades. El cultivo comercial plátano-café maneja altos

niveles de capital en comparación con los otros dos sistemas que le anteceden. Las Fincas 1 y 2 con similar manejo y estructura vertical y horizontal de especies, logran tasas de retorno muy parecidas, de 70.9% para la Finca 1 y de 77.8% para la Finca 2; la primera intensifica el cultivo, con fines de obtener máximos rendimientos de café cereza y plátano dominico, mientras que la segunda, con mayor uso de mano de obra familiar, eficientiza recursos para cosechar café cereza y obtener máximo desarrollo de hoja de plátano, la cual se oferta al mercado como "rollos de hoja de plátano". La Finca 3 es bastante diferente, ya que ésta produce plátano morado y hoja, con baja inversión y manteniendo alta densidad de árboles en la finca con respecto a la 1 y 2, que prácticamente no tienen. Los costos de producción fueron mayores donde existen condiciones de mercado y comunicación para una agricultura intensiva, como lo es el sistema comercial café plátano, excepto la Finca 3, manejada con niveles de inversión bajos y representando un caso atípico del sistema. Los productores de Maravillas que manejan el policultivo tradicional café-maderables-plátano, utilizan cero insumos por su inaccesibilidad a ellos, en términos monetarios y de distancia al mercado de los mismos. Los productores de Plan de las Hayas, eficientizan económicamente el sistema al ofertar frondas de palma camedor. De esta forma, los costos intermedios entre sistemas, se dan en el sistema café-palma camedor, con 64.3% más que en el policultivo tradicional y 39.5% o menos que en el sistema café-plátano.

Tasas de retorno diferenciadas. La tasa de retorno (TR) mide en términos relativos la eficiencia del proceso productivo en función del capital invertido. Cuando el incremento de los costos de producción contribuye a una mayor productividad de la finca, el resultado se refleja en un incremento en el ingreso neto, fenómeno observado al pasar de un policultivo tradicional en áreas de alta marginación (Maravillas), a un policultivo tradicional en áreas de marginación media (Plan de la Hayas), y de este último, a un policultivo comercial con productos para el mercado y con alta inversión en un ciclo anual de cultivo (Napoala). La mayor inversión de capital, efectuado en cada finca dentro de cada sistema, y los costos de producción generados a la par, da como resultado incrementos de costos, pero también de ingresos netos, los cuales son bastante notorios al pasar de un sistema a otro, formándose una pendiente a través del trayecto de la línea de incrementos; la pendiente está representada por la tasa de retorno, tal como se observa en la Figura 8.4.

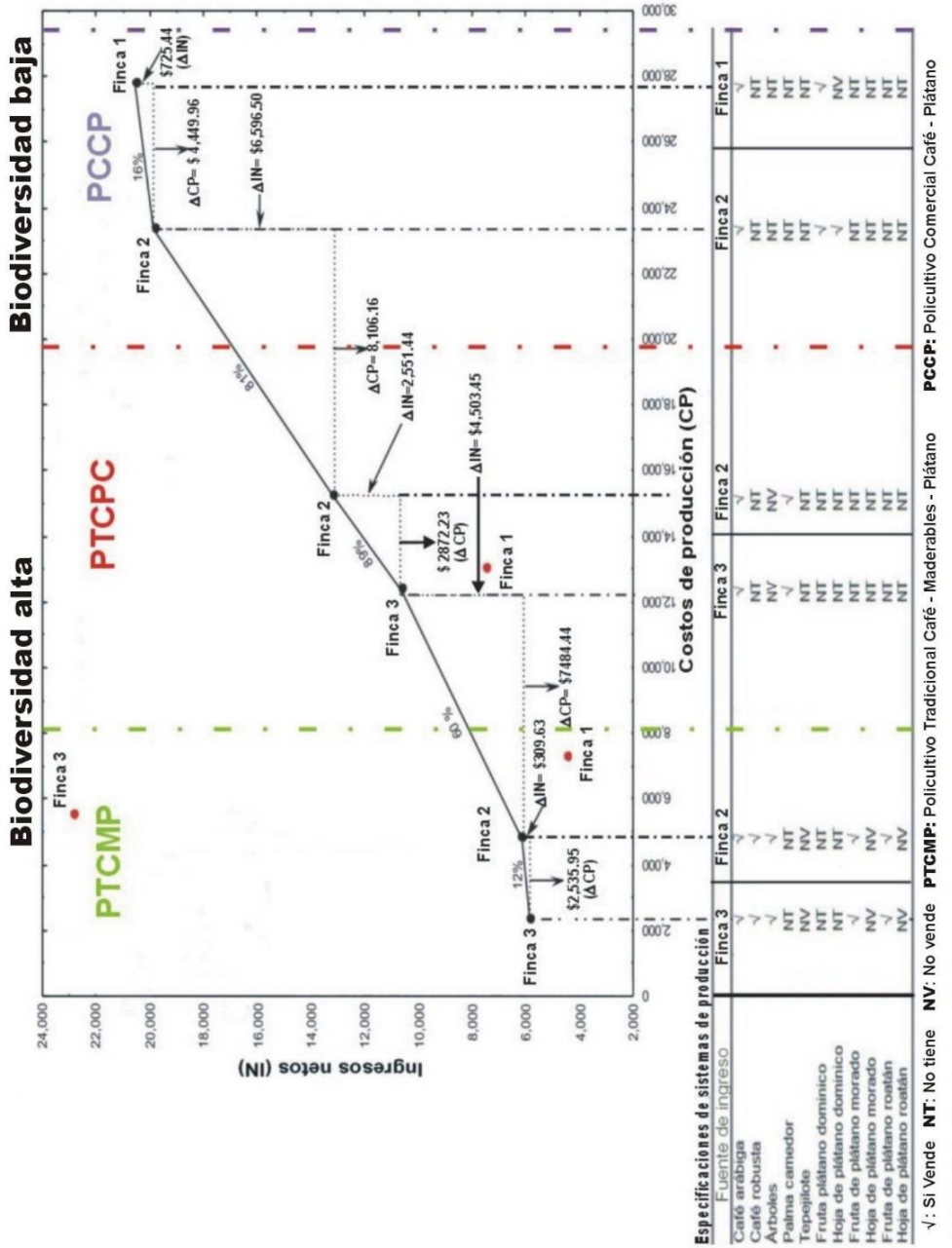


Figura 8.4. Tasas de Retorno (TR) generadas por el incremento del CP y el IN, al pasar en forma ascendente y paulatina de una finca a otra dentro y entre sistemas.

Al invertir $2,872.23 más en la Finca 2, con respecto a la Finca 3 del PTCPC, se logra un beneficio neto de $2,551.44, generándose una TR diferencial entre fincas de 89%. De igual forma, al incrementar los costos de producción en la Finca 2 del PCCP en un monto de $8,106.16, con respecto a la Finca 2 del PTCPC, el ingreso neto se incrementa en $6,596.50, con una TR resultante del 81%. Todo parece indicar que la presencia de árboles, aunque demanda menos jornales e insumos en la operación anual de la finca, propicia menos rendimientos, lo que favorece mayor relación costo-beneficio y menor flujo de capital. Las bondades ecológicas de los sistemas que requieren menos jornales, se transforman en menores beneficios socioeconómicos, mientras no se encuentre la forma de ofertar servicios ambientales o darles valor agregado a los productos, en tal forma que el proceso genere jornales, fuera de la actividad primaria.

Intervalo de inversión óptima. Se linealizó la tendencia de la distribución de puntos de incrementos de los CP y BN, creándose un modelo mediante el programa *Curve Expert* (Hyams, 2005), el cual ajustó los datos con la ecuación:

$$y = 6{,}184.5153 - 0.6145x + \left(1.0253\times10^{-4}\right)x^2 - \left(2.2535\times10^{-9}\right)x^3$$ (Ecuación 1).

Ésta explicó la variación de los beneficios netos con respecto a los costos de producción que varían, en acuerdo con el manejo de fincas, el sistema de producción de café y la comunidad en que se desarrollaron las actividades, obteniendo como resultado la función de inversión, mostrada en el gráfico de la Figura 8.5.

Así, en acuerdo con la Ecuación 1, los costos de producción variables explican en 99% el comportamiento de los ingresos netos. A partir de esta función se define el Intervalo de Inversión Óptima (IIO), calculando el punto de inflexión, el cual se ubicó en el punto de la línea del modelo donde es separada la parte convexa de la parte cóncava, para lo cual se calculó la primera derivada de la Ecuación 1, dada por la función:

$$f'(x) = -0.6145 + \left(2.0506\times10^{-4}\right)x - \left(6.7605\times10^{-9}\right)x^2$$. (Ecuación 2).

Enseguida se calculó una segunda derivada que está dada por la función:

$$f''(x) = 2.0506\times10^{-4} - \left(13.5210\times10^{-9}\right)x$$ (Ecuación 3).

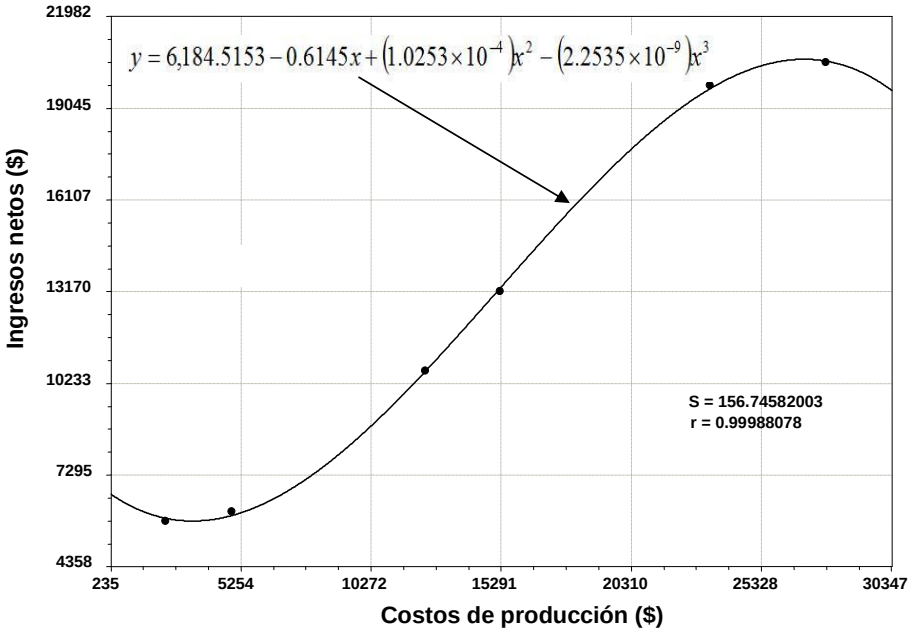


Figura 8.5. Función de inversión entre los costos de producción y los beneficios netos de fincas de café bajo tres sistemas de manejo.

Después de igualar a cero la segunda derivada, se obtuvo el valor de "X" (x = 15, 189.63). Al sustituir este valor en la función original, se generó el punto de inflexión de la función de inversión, el cual se ubicó en las coordenadas: (*x* =15,189.63, *y* =12,609.03). Sustituyendo estos valores en la Ecuación 1, y tomando como base los cálculos anteriores, se estimó que el IIO está entre $15,000 y $15,300, con lo cual se lograrían ingresos netos entre $12,430.70 y $12,712.83 pesos (TR= 83%). La explicación gráfica de los casos de inversión estudiados, se da en la Figura 8.6.

El IIO se da entre un manejo de cafetales con el sistema policultivo tradicional café-palma camedor y el policultivo comercial café-plátano, con agrobiodiversidad alta y baja, respectivamente. Considerando los niveles de rentabilidad de las fincas en este IIO y los niveles de agrobiodiversidad de las mismas, se define un prototipo de finca que equilibradamente genera productos que se traducen en ingresos económicos al productor, a la vez que se aprovechan los recursos de una manera sustentable; esto último se infiere por la presencia de una masa arbolada como cobertura vegetal. De esta manera, la

agroforestería tradicional, practicada por los cafeticultores desde hace más de dos siglos (Moguel y Toledo, 2004), coincide con los principios científicos de la agroforestería, al notarse el equilibrio de las metas contrapuestas de la conservación de los recursos naturales, la producción de cosechas, y la generación de ingresos para enfrentar los procesos de empobrecimiento y recuperar la seguridad alimentaria en el medio rural (Krishnamurthy y Uribe, 2002).

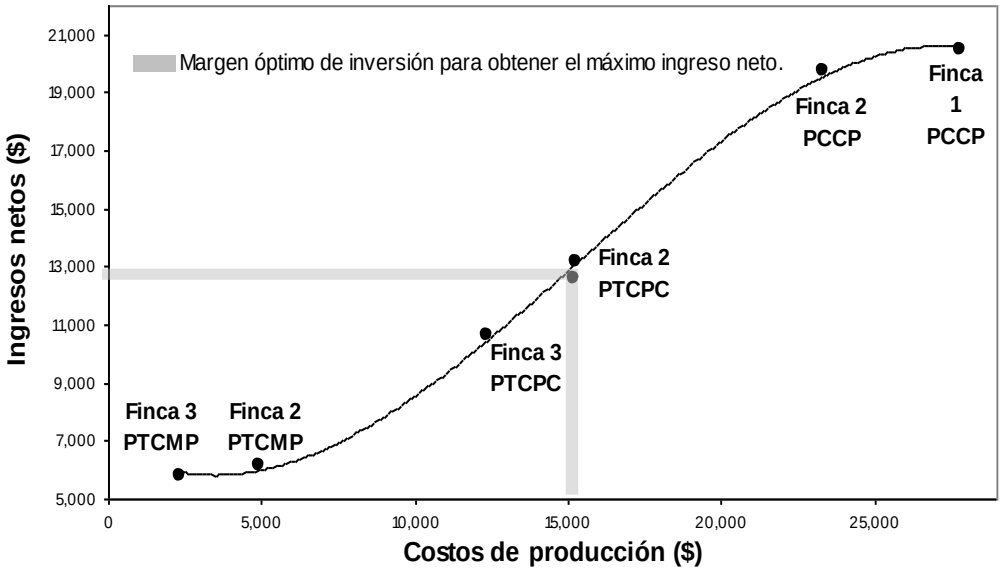


Figura 8.6. Intervalo de inversión óptima a partir del punto de inflexión después de igualar a cero la segunda derivada.

8.6. Análisis multivariante

El análisis de componentes principales (CP) comprende un procedimiento matemático que transforma un conjunto de variables correlacionadas en un conjunto menor de variables no correlacionadas llamadas componentes principales (Johnson, 1998). Los resultados asociados a esta parte del análisis indicaron que, para las variables edáficas, el primer componente principal lo forman calcio, fósforo, magnesio y la materia orgánica, mientras que el segundo

y tercer componente, lo forman potasio y nitrógeno inorgánico respectivamente. En conjunto, estos tres componentes explican el 74.39% de la variación; es decir, tanto la materia orgánica como los nutrientes primarios y secundarios, intervienen en la varianza explicada a excepción de la acidez del suelo. Por ello, cuando las variables edáficas fueron representadas en un plano, la distribución de puntos se concentró en torno al origen de los cuadrantes, lo cual sucede cuando existe mucha similitud entre las variables del fenómeno estudiado (Guajardo, 1999). Por otro lado, las variables relacionadas con el manejo y la salida de los sistemas, explican en un 76.2% la varianza explicada y acumulada de la población de casos estudiados, con dos componentes (Cuadro 8.5).

CUADRO 8.5. VARIABLES DE MANEJO DE CAFETALES Y SU PESO POR COMPONENTE Y VARIANZA PROPORCIONAL ACUMULADA.

VARIABLE	CP1	CP2	CP3
Ingreso por venta de café ($ ha^{-1})	**-0.856340**	-0.205330	0.432028
Densidad de cafetos (Plantas ha^{-1})	-0.598404	-0.534851	-0.589397
Densidad de árboles (Individuos ha^{-1})	0.556403	**-0.700973**	0.202382
Ingresos por especies asociadas ($ ha^{-1})	**-0.734324**	0.367532	-0.133010
Costos totales ($ ha^{-1})	**-0.940621**	-0.174376	0.205198
Varianza explicada	56.50	19.70	12.69
Varianza acumulada		76.20	88.89

En la Figura 8.7 se representan gráficamente las distancias euclidianas entre los puntos de los planos, las cuales equivalen a las distancias entre las observaciones originales de las variables de manejo de cafetales. La distribución de las observaciones reflejada en la figura muestra agrupaciones dispersas en torno a los sistemas considerados.

El policultivo tradicional café-maderables-plátano, se ubica en su mayor parte a la derecha de la figura entre los cuadrantes 1 y 4; es decir, el sistema es de los más arbolados, pero con menos ingresos y capital invertido. El policultivo tradicional café-palma camedor, se ubica hacia el centro del gráfico, con cierta tendencia hacia el origen, denotando con ello mayor similitud entre las fincas. Lo anterior se confirma por una mayor similitud de costos de inversión en el sistema café-palma camedor. El policultivo comercial café-plátano, localizado hacia el segundo cuadrante (superior izquierda), denota la escasez de árboles

frutales o maderables, como elementos del sistema en el estrato de sombreado, y con los más altos flujos de capital tanto en forma de inversión como en ingresos netos.

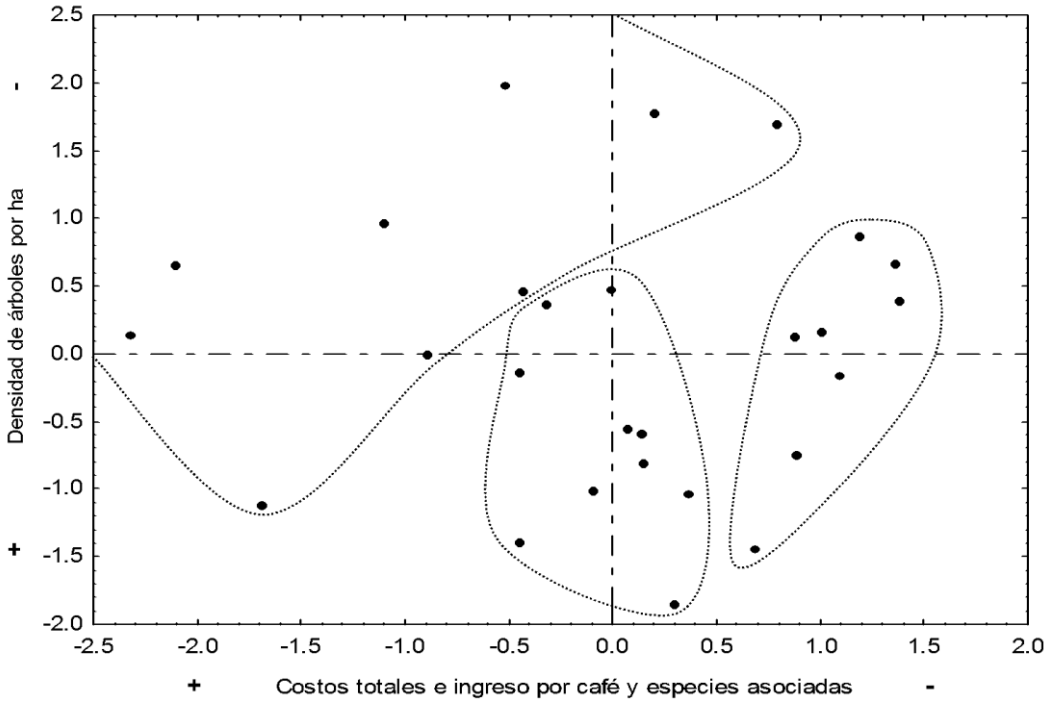


Figura 8.7. Distribución de observaciones en el plano factorial del CP1 y CP2 de tres SAF-Café en la ZCEV.

8.7. Síntesis reflexiva

Los árboles son los elementos distintivos entre los policultivos tradicionales, en sus diferentes concepciones y el policultivo comercial. Lo anterior coincide con Moguel y Toledo (2004) cuando afirman que la producción de café en México se hizo durante casi dos siglos (1790-1970), en sistemas agroforestales de sombra intercalando matas de café en selvas o bosques más o menos modificados. Los policultivos tradicionales mantienen una alta agrobiodiversidad y conservan germoplasma forestal nativo; en cambio el policultivo comercial café-plátano, en las fincas estudiadas, es de agrobiodiversidad pobre; este último en acuerdo

con los resultados, más bien tiende a ser un monocultivo semisombreado. La composición del arbolado se va conformando mediante prácticas de selección, reacomodo, plantado y arraleo, llegándose a tener un rodal disetáneo en el cafetal, con una particular estructura vertical y horizontal del dosel, cuyo aprovechamiento paulatino como madera o leña, genera productos forestales de la finca con valor de cambio o de uso en las salidas de los sistemas. Su monto económico es difícil de calcular precisamente por la forma paulatina en que se da su aprovechamiento, y usos y costumbres locales de permisos para la extracción de productos forestales de la finca.

Los diferentes, SAF-Café en sus modalidades de policultivo tradicional, son prácticamente un bosque aclarado donde se plantó café (Moguel y Toledo, 1999), y policultivo comercial, en el cual, el café y el plátano se manejan intensivamente (López *et al.*, 2006), aportan constantemente hojarasca de manera diferenciada dando lugar a distintos niveles de acidez, materia orgánica y contenido de nutrimentos en el suelo, más o menos en un ciclo cerrado (Gliessman, 2002).

En los policultivos tradicionales del caso Tezonapa, los cafetales presentan bajas densidades de población de cafetos, que se traducen en rendimientos disminuidos por el escaso número de matas; sin embargo, esta variable no fue de peso en el análisis de componentes principales. No obstante, los cafetales biodiversos de Plan de las Hayas, mantienen densidades de población semi intensivas de cafetos y sus rendimientos de café cereza son de más de 4 t ha^{-1}, rendimientos similares a los del policultivo comercial. Sin embargo, los policultivos tradicionales son de moderados a bajos en sus flujos de capital en el manejo de fincas, lo cual implica baja generación de jornales. El beneficio social con base en jornales generados, contrarresta los beneficios ambientales de la comunidad arbórea en el estrato alto de las fincas. Los productos adyacentes al café cereza proporcionan a los cafeticultores ingresos durante todo el año, contrarrestando la acumulación del ingreso de la finca especializada, en una sola época. Aunque los datos de aprovechamientos forestales dentro de la finca son imprecisos, los resultados experimentales e información documentada al respecto (Beer *et al.,* 1997; Muschler, 1999) permiten estimar que una masa arbolada de alrededor de 500 árboles por hectárea, que presentan los policultivos tradicionales, acumularía madera en volúmenes de aproximadamente seis metros cúbicos por hectárea por año o más.

Exponer las estrategias campesinas para hacer frente a los precios del café, así como el estado de la sustentabilidad de los recursos, estimados por la agrobiodiversidad, condición del suelo y la rentabilidad de la unidad de producción, fue el resultado final de esta metodología.

Agradecimientos

La información de este capítulo se generó gracias al financiamiento del **proyecto 2002-C01-6339**, mediante el fondo sectorial CONAFOR-CONACYT.

Literatura citada

Ávila, M. 1999. Aspectos socioeconómicos de la agroforestería. p. 237-263. *In:* Krishnamurthy, L. y M. Ávila (eds.). Agroforestería Básica. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental. Red de Formación Ambiental. PNUMA. México, D. F.

Beer, J., R. Muschler, E. Somarriba y D. Kass. 1997. Maderables como sombra para café. Boletín PROMECAFE No. 76-77:5-6. Instituto Interamericano de cooperación para la Agricultura (IICA). Tegucigalpa, Honduras.

Beer, J., R. Muschler, D. Kass and E. Somarriba. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. Agroforestry Systems 38:139-164.

Boege, E. 2002. Protegiendo lo nuestro: manual para la gestión ambiental comunitaria, uso y conservación de la biodiversidad de los campesinos indígenas de América Latina. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Fondo para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas de América Latina y El Caribe. Serie Manuales de Educación y Capacitación Ambiental No. 3. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D. F. 173 p.

Buckles, D. y R. Tripp. 1993. Gorras y sombreros: caminos hacia la colaboración entre técnicos y campesinos. p. 9-16 *In:* Buckles, D. (ed.) Memoria del Taller sobre los Métodos Participativos de Investigación y Extensión Aplicados a las Tecnologías Basadas en Abonos Verdes. Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Catemaco, Ver., México.

Budowski, G. 1993. Agroforestería: una disciplina basada en el conocimiento tradicional. Revista Forestal Centroamericana 2(3):14-18.

Cartay, R. 1999. Estrategias de sobrevivencia de los pequeños cafeticultores en tiempos de crisis. Centro de Investigaciones Agroalimentarias (CIAAL). Organización de los Andes (ULA). Agroalimentaria 5(9):79-82.

Castro, M. E. 2010. El estudio de casos como metodología de investigación y su importancia en la dirección y administración de empresas. Revista Nacional de Administración 1(2):31-54.

CCNDS (Consejo Consultivo Nacional de Desarrollo Sustentable). 2004. Café de calidad, medio ambiente y desarrollo sostenible. http//consejos.arteria.com.mx [consultado el 16 de septiembre de 2007].

Craig, S. N. 1990. The case study: A useful research method for information management". Journal of Information Technology 5(3):123-133.

Escamilla, P. E. 2007. Influencia de los factores ambientales, genéticos, agronómicos y sociales en la calidad del café orgánico en México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Ver., México. 254 p.

Escamilla, P. E. y S. Díaz C. 2002. Sistemas de cultivo de café en México. Universidad Autónoma Chapingo. CRUO. CENIDERCAFE. Huatusco, Ver., México. 57 p.

Espinosa, G. J. A. 1994. Análisis multivariado en la caracterización de las explotaciones bovinas del estado de Tabasco. p. 23. *In*: Memorias del XIV Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias. Acapulco, Gro., México.

FUNCAFOR (Fundación Café Forestal). 2007. La realidad del cultivo de café bajo sombra. La experiencia de: el Consorcio de Cooperativas de Caficultores de Guanacaste y Montes de Oro (COOCAFÉ R. L.). http://www.docstoc.com/docs/114347792/LA-REALIDAD-DEL-CULTIVO-DE-CAF%EF%BF%BD-BAJO-SOMBRA [consultado el 19 de mayo de 2013].

GEA A. C. (Grupo de Estudios Ambientales A. C.). 1993. El proceso de evaluación rural participativa: una propuesta metodológica. Programa de Manejo Participativo de Recursos Naturales. GEA/PNUD. México. 103 p.

Gliessman, S. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Costa Rica. 349 p.

Guajardo, P. R. A. 1999. Introducción al análisis multivariado usando el paquete "Statistica". Un enfoque metodológico con aplicaciones e interpretaciones. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Facultad de Estadística. Xalapa, Ver., México. 71 p.

Gutiérrez, C. L., A. Robles D., C. Zavala B., E. Flores Z., J. Dorantes L. y H. Hernández A. 1999. Manual de palma camedor. Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Pesquero del Gobierno del Estado (SEDAP). Gobierno del estado de Veracruz. Veracruz, Mex. 22 p.

Hart, R. D. 1979. Agroecosistemas: conceptos básicos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 211 p.

Harwood, R. R. 1986. Desarrollo de la pequeña finca. Serie de libros y materiales educativos No.78. Instituto Interamericano de cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 170 p.

Hyams, D. G. 2005. Curve Expert version 1.37. A comprehensive curve fitting package for Windows.

Johnson, D. E. 1998. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. Internacional Thomson Editores. México. 93 p.

Krishnamurthy, L. e I. Rajagopal. 2002. Evaluación de sistemas agroforestales con una mayor diversidad de especies para la producción sostenible. p. 361-387. *In*: Krishnamurthy, L. y G. M. Uribe (eds.). Tecnologías Agroforestales para el Desarrollo Rural Sostenible. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental No. 8. SEMARNAT. PNUMA. México, D. F.

Krishnamurthy, L. y G. M. Uribe. 2002. Tecnologías agroforestales para el desarrollo rural sostenible. Red de Formación Ambiental. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental No. 8. SEMARNAT. PNUMA. México, D. F. 460 p.

López, M. R., A. Contreras L., J. Ruiz R., G. Castillo P., A. Contreras J. y J. L. Martínez R. 1999. Diagnóstico de la cafeticultura en la zona centro del estado de Veracruz: un enfoque regional. p. 8-13. *In*: Décima Segunda Reunión Científica y Tecnológica Veracruz. Veracruz, Ver., México. 8-13 p.

López, M. R., J. L. Martínez R., G. Díaz P. y J. G. Salazar G. 2004. Indicadores agroecológicos y socioeconómicos de la cafeticultura en la zona centro del estado de Veracruz. Informe técnico del proyecto CONAFOR-CONACYT-2002-01-6339. INIFAP. Campo Experimental Xalapa. Xalapa, Ver., México. 69 p.

López, M. R., J. M. P. Vázquez A., R. Martínez V. y M. A. López R. 2013. Rentabilidad de fincas de café. p. 462. *In*: López, M. R., G. Díaz P. y A. Zamarripa C. (eds.). El Sistema Producto Café en México: Problemática y Tecnología de Producción. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México.

López, M. R., J. L. Martínez R., G. Salazar G. y G. Díaz P. 2006. Manejo de cafetales bajo sistemas agroforestales (SAF-Café) en la zona centro del estado de Veracruz: la comunidad como espacio geográfico. Informe de la segunda etapa del proyecto CONAFOR-CONACYT-2002-01-6339. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Xalapa, Ver., México. 99 p.

Moguel, P. and M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of México. Conservation Biology 13(1):11-21.

Moguel, P. y M. Toledo. 2004. Biodiversidad: café orgánico y jardines productivos. Biodiversitas 55:2-7.

Moreno, B. A. M., E. Hernández G. y F. L. Grisales L. 2005. Productividad del sistema: café intercalado con plátano en barreras. Cenicafé 56(1):79-85.

Muschler, R. G. 1999. Árboles en cafetales. Proyecto agroforestal. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Cooperación Técnica Alemana (GTZ). Materiales de enseñanza No. 45. Turrialba, Costa Rica. 139 p.

Ortiz, C. G. y M. R. Pineda L. 2008. Las fincas de café: sitios de conservación *in situ* de biodiversidad. p 231-250. *In:* Díaz-Fleischer, F., J. Galindo-González y L. R. Sanchez-Velázquez (eds.). Ecología, Manejo y Conservación de los Ecosistemas de Montaña en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Ortiz, C. G., M. Vargas M., M. A. Mendoza B., M. M. Ojeda R y L. Trujillo O. 2004. Análisis comparativo de la producción y demanda del café en el mercado internacional (1980-2003). Interciencia 29(11):621-625.

Perfecto, I., R. A. Rice, R. Greenberg and M. E. Van der Voort. 1996. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. BioScience 46(8):598-608.

Quivy, R. y L. V. Campenhoudt. 1990. Manual de Investigación en ciencias sociales. Versión en español. LIMUSA. México. 269 p.

Ramakrishna, B. 1997. Estrategia de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias. Serie investigación y educación en desarrollo sostenible. Proyecto IICA/GTZ sobre agricultura, recursos naturales y desarrollo sostenible. San José, Costa Rica. 338 p.

Sánchez, R. V. 1990. Diagnóstico de la productividad. p. 81-87. *In*: Instituto Mexicano del Café-Nestlé (eds.). El Cultivo del Cafeto en México. La Fuente, S. A. Xalapa, Ver., México.

Santoyo, C. V. H., S. Díaz C., B. Rodríguez P. y J. R. Pérez P. 1995. Sistema agroindustrial café en México: diagnóstico, problemática y alternativas. Universidad Autónoma Chapingo. México. D. F. 320 p.

Sepúlveda, L. D. C., B. Moreno, A. M. Mestrem M. y B. Chaves C. 2001. Sistemas de producción de café en el departamento del Quindío. Cenicafé 52(4):303-309.

Tamayo, T. M. 1994. El proceso de investigación científica. Limusa. México, D. F. 231 p.

Yacuzzi, E. 2005. El estudio de caso como metodología de investigación: teoría, mecanismos causales, validación. Serie documentos de trabajo No. 296. Universidad del CEMA. Buenos Aires, Argentina. 37 p. http://ideas.repec.org/p/cem/doctra/296.html [consultado el 19 de mayo de 2013].

IX. Crecimiento de árboles de sombreado y producción de café en un sistema agroforestal: resultados experimentales

Rosalío López Morgado[1], Jesús Gustavo Salazar García[2], Luis Eduardo García Mayoral[1]
[1] Investigador del Programa de Cultivos Industriales Perennes del INIFAP.
lopez.rosalio@inifap.gob.mx
[2] Ex investigador del Programa de Plantaciones y Sistemas Agroforestales del INIFAP.

9.1. Introducción

La cafeticultura nacional se caracteriza por su productividad y rentabilidad baja, debido a la caída de los precios internacionales del café en los últimos 30 años. Estos factores han propiciado la diversificación productiva con especies arbóreas, mismas que además de conformar el estrato de sombreado del cafetal, reducen costos y posibilitan otros ingresos por la venta de productos adyacentes al café cereza, además de generar beneficios al ambiente. Los sistemas tradicionales de producción de café en México tienen como distintivo común un estrato de sombreado, con modalidades que van desde sombra diversificada, hasta policultivos comerciales con especies frutales, maderables u ornamentales (Hernández-Martínez, 2008; Toledo y Moguel, 2012). También están los sistemas especializados con sombra monoespecífica (Escamilla y Díaz, 2002), notándose que el componente "árboles de sombra" (Muschler, 1999), fundamenta cada uno de los sistemas. El presente capítulo contempló factores agronómicos y silvícolas en un experimento de café establecido bajo un sistema agroforestal (SAF-Café), formulándose la hipótesis de que la producción de café como producto principal, puede tender a la sustentabilidad al mantener la armonía entre el ambiente y los beneficios que el estrato de sombreado genera.

Los SAF-Café con árboles maderables son una alternativa que actualmente se realiza en diversas partes del país y el mundo para producir cafés diferenciados, debido a que la presencia de árboles en áreas cafetaleras es promisoria para responder a cuestionamientos ecológicos y económicos de la cafeticultura, al fusionar los beneficios generados por los subsistemas agrícola y forestal, además de propiciar interacciones positivas con otros componentes del ecosistema. Así, el hecho de incorporar fuentes alternas de productos

aprovechables como lo es la madera, suscitaría una forma diferente de manejo del cafetal y generaría nuevos paradigmas de aprovechamiento de productos en la finca de café.

El INIFAP en sus programas de investigación evalúa diversas alternativas para ofrecer a los productores sistemas sustentables y productivos de acuerdo con las condiciones que se tienen en México. En este sentido, se expone la experiencia que se ha logrado con un trabajo experimental de SAF-Café con árboles forestales maderables durante nueve años de registro de datos. Lo anterior permitió comparar el rendimiento de café bajo la sombra de estas especies y su volumen acumulado de madera que producen tanto especies nativas (ixpepe *Trema micrantha*) como introducidas (paulownia *Paulownia elongata,* bracatinga *Mimosa scabrella* y cedro rosado *Acrocarpus fraxinifolius*).

Antecedentes

Los sistemas agroforestales de café (SAF-Café) pueden favorecer no sólo al cultivo principal, sino que también proveen productos (madera, leña, forraje, etc.), además de proteger al suelo contra la erosión, liberar oxígeno, y ser refugio para fauna y flora silvestre, entre otros. Sin embargo, la experimentación se hace imperante, debido a que la agroforestería ha sido predominantemente descriptiva, sin ensayos que cuantifiquen sus atributos agronómicos y ecológicos (Nair, 1997). Algunos de los efectos esperados de los árboles de sombra en un cafetal son: su influencia en la composición de la cubierta vegetal del sotobosque, favoreciendo a las dicotiledóneas y marginando a los pastos, regulación de la temperatura del suelo al proporcionarle una cobertura de hojarasca, reducción del crecimiento vegetativo en los cafetos y la inducción de su floración, lo que supone la reducción de la producción de café cereza (Beer *et al*., 1998); sin embargo, en un experimento donde el cafetal se cultivó bajo niveles de sombreado denso e intermedio, después de registrar la producción de café durante cuatro años consecutivos, se concluyó que el rendimiento de café fue tan alto como el alcanzado por cafetos a pleno sol (Muschler, 1999). Asimismo, otras observaciones hicieron notar que el café bajo sombra excesiva (>80%), siempre produjo al menos 60% de la producción obtenida en los tratamientos sin o con muy poca sombra. El cultivo de café bajo sombra es recomendado sobre todo en ambientes marginales para el crecimiento y desarrollo del cafeto, donde existen temperaturas extremas, déficit hídrico,

heladas o granizo y donde las prácticas intensivas de cultivo no son apropiadas (Fournier, 1987). La sombra reduce el estrés de los cafetos, mejora las condiciones ambientales y el balance de nutrientes, debido a que funciona como una capa amortiguadora al reducir la fluctuación de temperatura hasta por ±5°C. Además, puede producir hasta 14 t ha^{-1} $año^{-1}$ de hojarasca y residuos de podas, que contienen 340 kg de N ha^{-1} $año^{-1}$ (Vaast y Snoeck, 1999), aunque algunos autores mencionan que la fijación anual de nitrógeno por especies arbóreas leguminosas no podría exceder los 60 kg en una densidad de 100 a 300 árboles por hectárea (Fassbender 1993; Cordero *et al*., 2003).

Especies forestales maderables en el sombreado de cafetales

Algunos estudios en cafetales con policultivos diversos de la Zona Centro del Estado de Veracruz, han registrado 88 y 61 especies arbóreas en una superficie muestreada de 6.7 y 0.36 hectáreas respectivamente (Williams-Linera y López-Gómez, 2008; García *et al*., 2015), lo cual describe la riqueza de especies como posibles candidatos para un aprovechamiento maderable, tal como el roble [*Tabebuia rosea* (Bertol.) DC], que aunque no existe experiencia con este tipo de especie en asociación con café, se sabe que su manejo podría ser similar al de xochitlcuahuitl [*Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken], del cual es fundamental regular su sombreado, ajustándose sus densidades y podándose las ramas de cada individuo, para ir conformando el rodal paulatinamente; *C. alliodora* es conocido en Colombia como nogal cafetero, y frecuentemente es plantado en sistemas agroforestales con café y cacao o plantado como lindero de fincas de café (Sánchez *et al*., 2008). Muschler (1999) reportó volúmenes de producción de madera, que van de 4 a 6 m^3 ha^{-1} $año^{-1}$; al considerar 100 árboles de *C. alliodora* que conforman el rodal de sombreado de la finca; cabe aclarar que esta especie no se considera de crecimiento rápido.

El ixpepe [*Trema micrantha* (L.) Blume] es una especie pionera, propia de la sucesión secundaria en bosques perturbados, con regular uso como leña y carbón, caracterizándose por su madera blanda y liviana, altamente susceptible a pudrición; sin embargo, cabe destacar la belleza del veteado de su madera y el alto índice de mención por cafeticultores cuando se consulta sobre su presencia en fincas (López *et al*., 2013). En Colombia es poco usada en la industria de la madera y se emplea en la elaboración de cajones, revestimiento de interiores, aglomerados y pulpa para papel (Cardona *et al.,* 2011); en México, en

San Pablito Pahuatlán, Puebla, además de un uso doméstico, se utiliza para la elaboración de papel amate (Cruz-Márquez *et al*., 2014). El uso agroforestal conocido de la paulownia (*P. elongata*), es en las planicies de la parte norte centro de China, donde forma una red de cortinas rompevientos de una hilera que se asocia con cultivos como el trigo, maíz, soya, té, uvas y manzanas entre otros. La finalidad es proteger y mejorar los rendimientos de algunos cultivos y satisfacer la demanda de madera y combustible (Chinese Academy of Forestry, 1986; Barton *et al*., 2007). Por otro lado, el cedro rosado es ampliamente utilizado como sombra de café en India, en donde se descubrió que es afectado negativamente en su incremento en diámetro por la densidad de cafetos que están asociados alrededor del árbol. Esto sería más común en los cafetales con base en variedades de café arábica, los cuales son plantados a mayores densidades, frecuentemente con unos 2,000 cafetos por hectárea (alrededor de 60 cafetos en un radio de 10 metros), en comparación con las densidades de plantaciones de café robusta (Nath *et al*., 2011). Por su parte, la bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) es una especie que sobresale por su alto rendimiento en madera, de 17 a 82 m^3 ha^{-1} $año^{-1}$ a los tres años de edad, con individuos de hasta 11 m de altura y 12 cm de diámetro normal (Domínguez y Ramírez, 1995). Esta especie originaria del sur de Brasil, es apropiada para el sombreado de cafetales debido a su crecimiento rápido y copa estrecha de follaje fino (Domínguez, 1994). Otra especie como el picho o duela [*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake], presentan crecimiento rápido, alcanzando hasta los 10 metros en tres años y aunque presenta raíces epigeas, no interfiere con el desarrollo del café; en cambio, el nacaxtle [*Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb.], presenta menor compatibilidad debido a su sombreado tan amplio y sus raíces largas y superficiales; sin embargo, al igual que los chalahuites y jinicuiles (*Inga* spp.) son relacionados con el sombreado más apropiado para café, por sus efectos benéficos como especies de leguminosas que enriquecen el suelo con materia orgánica y nitrógeno.

La selección de especies de sombra debe tratar de cumplir los siguiente requerimientos: ser de rápido crecimiento, poseer un sistema radical profundo que no compita con los cafetos, tener crecimiento abundante de hojas, pero fácil de controlar, ser perennifolia, resistente al viento, preferentemente leguminosa, y que no sea potencialmente hospedera de plagas y enfermedades del cafeto (Lambot y Bouharmont, 2004), ya que la sombra mantiene condiciones de microclima que generalmente favorecen la incidencia de

insectos y patógenos en detrimento de la calidad del café. La regulación de la sombra y el manejo silvícola del estrato arbóreo es importante para el manejo integrado de plagas, ya que el aumento de sombra puede incrementar la presencia de ciertas plagas y reducir la incidencia de otras. En Latinoamérica se recomienda podar los árboles de sombreado dos veces al año; la primera vez, después de la floración principal y la segunda, justo antes del comienzo del segundo periodo de lluvias fuertes, tratando de mantener entre 25 a 40% de sombra. La guía principal es evitar la competencia por humedad con los cafetos durante la temporada de secas. Las especies forestales maderables xochitlcuahuitl (*C. alliodora*) o grevilea (*Grevillea robusta*) son posiblemente la mejor elección para los Arabica, y *Terminalia ivorensis* para Robusta (Lambot y Bouharmont, 2004). El problema principal radica en el aprovechamiento de los árboles, por lo que se deben derribar cuando sea la época de manejo del tejido productivo de los cafetos, sobre todo cuando se realizan tipos de poda en serie, como la poda esquelética, bandola o pulmón, y más aún, cuando se realiza la recepa o poda severa (López *et al*., 2013). El impacto de la sombra en la calidad y producción de café, es que ésta suscita la formación de frutos más grandes, lo cual puede deberse a la menor carga de frutos de los cafetos y la maduración paulatina de éstos, dándose un proceso bioquímico que propicia la formación de compuestos determinantes de la calidad organoléptica del grano de café.

9.2. Proceso metodológico en la experimentación

El experimento está ubicado dentro de las instalaciones del Sitio Experimental Teocelo del INIFAP, el cual se localiza a una latitud norte de 19° 23’ 10”, longitud oeste 97° 00’ 06” y altitud de 1,250 m. La precipitación pluvial anual es de 2,063 mm, la temperatura promedio de 20°C, con una máxima media de 25°C y mínima media de 14°C, y los suelos son derivados de cenizas volcánicas de tipo andosol.

Las especies arbóreas de sombra estudiadas son el cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn.), la bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth), la paulownia [*Paulownia elongata* S.Y. Hu.) y el ixpepe [*Trema micrantha* (L.) Blume]. La variedad de café fue Oro Azteca, genotipo liberado por el INIFAP, resultado de la cruza entre la variedad Caturra Rojo y el Híbrido de Timor, este último caracterizado por su resistencia a la roya anaranjada (Zamarripa y López, 2013).

El modelo experimental con que fueron analizados los datos fue de bloques al azar con cuatro repeticiones, bajo un diseño factorial de tratamientos 4 x 2 x 6 en parcelas subdivididas, para un caso de experimento con mediciones repetidas. En todos los tratamientos, la parcela experimental fue de 15 árboles y sus correspondientes cafetos en el área de influencia de éstos; la parcela útil fue de tres árboles y 48 cafetos con la influencia total de cada tipo de sombra (Cuadro 9.1).

CUADRO 9.1. FACTORES Y NIVELES EN UN MODELO DE PARCELAS SUBDIVIDIDAS CON MEDICIONES REPETIDAS EN DISTINTOS CICLOS DE COSECHA.

FACTORES	NIVELES
Parcela grande **Arreglo de plantación:** Café (Var. Oro Azteca) y árboles en dos disposiciones.	**Hilera sencilla (HS):** 3,333 cafetos ha^{-1} (2 m entre líneas x 1.5 m entre plantas) y 278 árboles ha^{-1} (6 x 6 m) **Hilera doble (HD):** 2,667 cafetos ha^{-1} (1.5 m y 3.5 m entre líneas x 1.5 m entre plantas) y 333 árboles ha^{-1} (6 x 5 m)
Parcela mediana **Especies arbóreas:** (Esp) para sombreado de café.	***Acrocarpus fraxinifolius*** (cedro rosado) ***Mimosa scabrella*** (bracatinga) ***Paulownia elongata*** (paulownia) ***Trema micrantha*** (ixpepe)
Parcela chica **Tiempo.** Edad para las variables dasonómicas y ciclos de cosecha para las variables sobre café.	**Seis ciclos de cosecha:** en periodos iguales; 2006/2007, 2007/2008, 2008/2009, 2009/2010, 2010/2011 y 2011/2012. **Seis mediciones dasonómico-forestales:** en lapsos desiguales; 1.4, 2.4, 3.2, 5.8, 7.7 y 8.8 años.

Registro de variables

El proceso de registro de datos sobre producción de café inició con la cosecha del café cereza maduro de cada parcela útil. Después de pesar la producción de café cereza por superficie de parcela útil, se llevaron 100 g de frutos al beneficiado para estimar el rendimiento de café pergamino, la relación café cereza/pergamino y la calidad física del grano. En este capítulo se presenta el análisis de seis cosechas correspondientes a los ciclos de producción 2006/2007 (primera cosecha), 2007/2008, 2008/2009, 2009-2010, 2010-2011 y 2011-2012. Respecto a las variables dasonómicas, se registró la altura y diámetro a la altura de pecho (DAP = 1.3 m) de los árboles, y mediante los registros de estas dos variables, se estimaron variables compuestas como área basal y volumen de madera acumulado por hectárea.

Variables registradas respecto a producción de café. Las variables inherentes a la producción primaria de café, como rendimiento de café cereza y la relación cereza-pergamino, son el referente comercial para apreciar la calidad agroindustrial en los frutos cosechados, los cuales se obtuvieron de la siguiente manera.

Rendimiento de café cereza. Se registró la producción en la parcela útil en kg y después se extrapoló a toneladas por hectárea.

Rendimiento de café pergamino. Una vez despulpado el café cereza de cada parcela útil, lo cual remueve alrededor del 75% del peso, se estimó el rendimiento de café pergamino de cada parcela útil, extrapolándose a toneladas por hectárea.

Relación cereza-pergamino. Se determinó mediante la relación de kilogramos de café cereza necesarios para obtener un quintal de café pergamino (57.5 kg).

Variables dasonómicas registradas en las especies de sombreado. El análisis se concreta a seis edades de los árboles al momento de la última toma de datos (2003-2012); para el caso, la última toma de datos que se presenta, fue realizada nueve años después de establecidos los árboles del estrato de sombreado.

Crecimiento en diámetro normal. Se midió con cinta métrica la circunferencia del fuste del árbol a una altura de 1.3 m, para posteriormente calcular el diámetro a partir de la relación siguiente: diámetro es igual a la circunferencia de un círculo en centímetros entre “pi” (π=3.1416).

Crecimiento en altura total. Altura medida en metros con clinómetro, tomada desde la base del árbol hasta la punta terminal.

Área basal por hectárea. El área basal se calculó en función del área ocupada por los troncos a la altura de 1.3 m de los árboles que aún se encuentran en pie en la parcela útil, el valor obtenido en la parcela se extrapola para estimar el valor por hectárea.

Producción de volumen de madera por hectárea. Se tomó el área basal de cada árbol a 1.3 m de altura, para enseguida multiplicarlo por la altura total del árbol, obteniéndose el volumen de un cilindro; sin embargo, debido a que el tronco de un árbol presenta ahusamiento, se multiplicó por un factor de corrección para descontar la madera que excede. Se tomaron en cuenta los factores de 0.5 para las especies de pawlonia (Xiong, 1990) y cedro rosado (Whitmore y Otárola, 1976); en el caso de ixpepe y bracatinga se evaluó la forma de los árboles en campo mediante fotos digitales (EMBRAPA-CNPF, 1988). El volumen obtenido por parcela útil se utilizó de base para el cálculo total de volumen, extrapolándose éste a una hectárea.

Análisis estadístico de variables del SAF-Café

Supuestos del análisis de varianza. La naturaleza sistemática de los datos repetidos a través del tiempo hace que las posibles correlaciones de las mediciones sean cambiables, y las mediciones más cercanas pueden tener correlaciones más altas, que las mediciones más lejanas en tiempo. La suposición de igualdad de correlaciones puede ser incorrecta en las observaciones a través del tiempo dentro de la misma parcela, o dentro del mismo bloque. Las mediciones en diferentes bloques son no-correlacionadas. Por lo tanto, se optó por realizar un análisis de varianza para un experimento con mediciones repetidas a través del tiempo. Se asume que los efectos de bloques, arreglo de plantación, especies y los tiempos de las mediciones repetidas son efectos fijos y que los efectos residuales para la parcela grande, parcela mediana y la parcela chica son efectos aleatorios. El modelo lineal empleado es el siguiente:

$$y_{ijkl} = \mu + \beta_i + A_j + \epsilon_{ij} + E_k + (AE)_{jk} + \delta_{ijk} + T_l + (\beta T)_{il} + (AT)_{jl} + \theta_{ijl} + (ET)_{kl} + (AET)_{jkl} + \gamma_{ijkl}$$

Donde $A_j$es el efecto del arreglo de plantación de cafetos y especies de sombreado, E_k es el efecto de las especies de árboles de sombreado, y $(AE)_{jk}$ la interacción entre el arreglo de plantaciones y las especies de árboles. El T_l es el efecto del tiempo, donde se repite la medición de las variables de crecimiento de los árboles y el rendimiento de café, y $(AT)_{jl}$ y $(ET)_{kl}$ son las correspondientes interacciones del paso del tiempo con el arreglo de plantación y las especies de los árboles de sombreado. Por su parte, $(AET)_{jkl}$ es la interacción entre los tres

factores de variación: 1. El arreglo de plantación, 2. Las especies de árboles de sombreado, y 3. El tiempo. Con lo anterior se genera un efecto residual de las parcelas grandes, medianas y chicas estimado por ϵ_{ij}, δ_{ijk}, y γ_{ijkl}, respectivamente. Un caso donde el número de bloques es menor al número de niveles del factor de medición repetido, por lo que es recomendable el uso limitado de los contrastes (Gumpertz y Brownie, 1993).

El diseño de parcelas divididas asume que las diferencias entre los niveles de tratamiento son homogéneas, es decir se tiene simetría compuesta o esfericidad; sin embargo, es frecuente que las observaciones de los mismos individuos en el tiempo, estén correlacionadas. Para realizar el análisis de varianza se utilizó el PROC MIXED de SAS que se recomienda porque puede manejar los datos perdidos, como es el caso en experimentos sobre SAF-Café, donde se tienen variables medidas en parcelas que ya no cuentan con todos los árboles iniciales de sombreado.

El análisis mediante el programa SAS a través del procedimiento para modelos mixtos en experimentos con mediciones repetidas, asumió que había correlación entre éstas. Se probaron diferentes estructuras de covarianza para las mediciones repetidas en lapsos iguales (caso de las variables de café). Las estructuras de covarianza que se probaron fueron la autoregresión, autoregresión con promedio móvil, la "Toeplitz", y la de simetría compuesta. Se seleccionó la mejor estructura con los valores menores de los indicadores AIC, AICC y BIC. Para el caso de las variables dasonómicas, también se probaron tres estructuras de covarianza, pero para lapsos de tiempo desiguales, que fueron "Spatial Power", "Spatial Gaussian", y "Spatial Spherical" (Littell *et al*., 2006). Una parte importante del registro del crecimiento de los árboles de sombreado, es tener la posibilidad de contar con una función de crecimiento para los arreglos de plantación utilizados, en tal forma que se genere información de referencia para los productores, académicos e investigadores sobre el desarrollo de las especies utilizadas en el experimento. Para lograr lo anterior, se procedió a ajustar, mediante el "Proc Model" de SAS, los modelos siguientes: Richard-Chapman $y = a * (1 - e^{-b*t})^c$, Logístico $y = a * (1 - e^{-b*t})^c$, Gompertz $y = a * e^{-b*e^{-c*t}}$, y Weibull $y = a * \left(1 - e^{-b*t^c}\right)$ (Aguilar, 1991; Zeide, 1993), donde "y" es la variable de respuesta, "t" es la edad y "a", "b" y "c", son los parámetros de la ecuación para ajustar el crecimiento en altura, diámetro y volumen de las cuatro

especies, por cada arreglo de plantación y sus posibles interpretaciones de acuerdo con los resultados obtenidos.

9.3. Variables registradas en el componente café y su análisis de varianza

El modelo estadístico que sustenta el experimento, propicia encontrar diferencias entre tratamientos ubicados en parcelas chicas, por ser los que más observaciones presentan. En el Cuadro 9.2 se muestran los valores de "F" y la probabilidad de un número significativo menor que "F" (prueba de Fisher), para las variables rendimiento en sus modalidades de café cereza y café pergamino, además de su relación cereza-pergamino, que, aunque es un atributo propio de la variedad cultivada, puede estar influenciada por la especie de árbol que proporciona sombra y por el manejo silvícola que se le da al SAF-Café.

CUADRO 9.2. VALORES DE "F" Y SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA PARA TRES VARIABLES.

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	CAFÉ CEREZA (t ha^{-1})		CAFÉ PERGAMINO (t ha^{-1})		RELACIÓN CEREZA-PERGAMINO (kg)	
		Valor de F	Prob > F	Valor de F	Prob > F	Valor de F	Prob > F
Bloque	3	4.82	**0.0104**	10.22	**0.0002**	0.37	0.7778
Arreglo de plantación	1	38.72	**<.0001**	48.64	**<.0001**	6.51	**0.0186**
Especie de árbol	3	0.63	0.6015	0.86	0.4778	6.11	**0.0037**
Arreglo x Especie	3	0.19	0.9041	0.25	0.8603	0.61	0.6174
Ciclo de cosecha	5	83.54	**<.0001**	85.9	**<.0001**	34.1	**<.0001**
Arreglo x Ciclo	5	6	**<.0001**	5.15	**0.0003**	3.17	**0.0102**
Especie x Ciclo	15	0.81	0.6679	0.61	0.8652	2.07	**0.0157**
Arreg. x Esp. x Ciclo	15	0.29	0.9952	0.27	0.9969	0.5	0.9389

Las fuentes de variación que presentaron diferencias significativas en las tres variables analizadas fueron: arreglo de cafetos, ciclos de cosecha y la interacción de ambas; en la primera se explica debido a que el rendimiento de café está altamente correlacionado con el número de cafetos por hectárea, lo cual es mencionado por Castillo (2005), como uno de los componentes de alto impacto en los procesos de adopción de tecnología. En los ciclos de cosecha, las diferencias estadísticas se dan por el comportamiento bienal anual de la

producción de café. Las fuentes de variación que sólo presentaron diferencias en la variable relación cereza pergamino, fueron especie de árbol y especie por ciclo, quizás porque hubo años favorables a un mayor sombreado de alguna especie, lo cual es un hecho que favorece mayor contenido de agua en los frutos maduros de café, y podría afectar significativamente la relación cereza-pergamino. Sin embargo, la influencia del manejo silvícola que provoca uniformidad en el sombreado, hace que no existan diferencias significativas en rendimiento de café cereza y café pergamino, donde lo esperado sería que, por la densidad del follaje y el carácter caducifolio de dos de las especies, se reflejara significancia en alguna variable de respuesta. El arreglo y la especie de árbol, son factores independientes, ya que su interacción no causa diferencias en las tres variables.

Rendimientos de café cereza y café pergamino. Los rendimientos de café cereza van cambiando a medida que los cafetos avanzan en edad, debido a que ciclo tras ciclo de producción se conforma un área nueva de tejido productivo que se desplaza hacia afuera y hacia lo alto del arbusto (Ramírez, 2009), expresándose como resultado diferencias estadísticas en los seis ciclos considerados, siguiendo la característica bienal cíclica de los cafetos, alternando cosechas altas en un ciclo, con cosechas bajas al ciclo siguiente. Respecto a los ciclos de cosecha alta, 2008/2009 y 2010/2011, éstos mostraron medias de rendimiento con diferencia significativa conforme a la prueba de Tukey; grupo de significancia “a” y “ab” respectivamente. Los ciclos correspondientes a las cosechas bajas, 2007/2008 y 2009/2010, también mostraron una diferencia significativa conforme a Tukey; grupos de significancia “cd” y “d” respectivamente (Figura 9.1).

En el caso del café pergamino (Figura 9.1), los ciclos de cosecha registran producciones alternadas de alta y baja producción de café, como las presentadas con el café cereza. Al aplicar la prueba de Tukey, los ciclos de cosechas altas presentan diferencias significativas marcadas con desigualdades en rendimiento de 1.6 a 1.2 t ha^{-1}. Caso contrario se observa en los ciclos de cosechas bajas, que mantienen un nivel de producción con una marcada homogeneidad en la diferencia de medias y grupos de significancia que difieren de 0.3 a 0.6 t ha^{-1}.

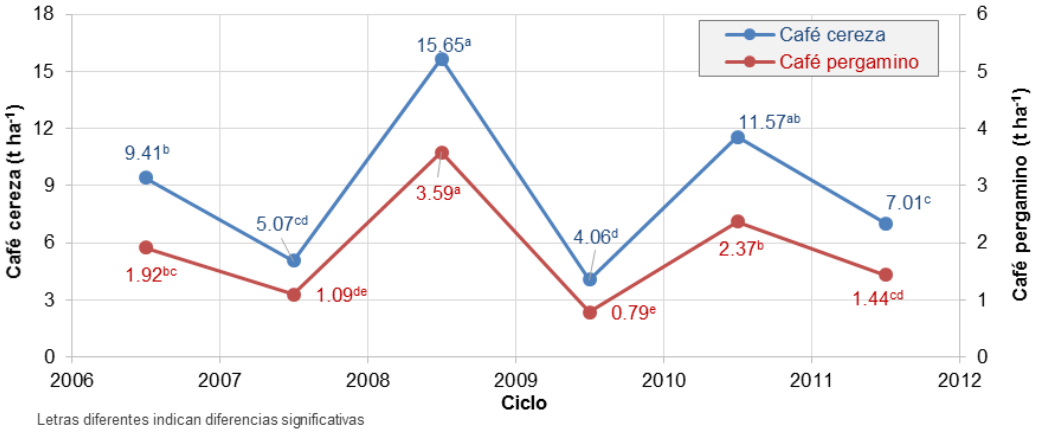


Figura 9.1. Comportamiento de la producción de café cereza y café pergamino por ciclo en el lote experimental sobre SAF-Café.

Interacción ciclos x arreglos. El arreglo en espaciamiento (densidad de plantación) es determinante en el rendimiento de café cereza y pergamino; la densidad alta (3,333 cafetos ha^{-1}), registró una producción promedio de 10.41 t ha^{-1} (38.61 Qq ha^{-1}) en seis ciclos, mientras que en la densidad menor (2,667 cafetos ha^{-1}) la producción se redujo a 7.18 t ha^{-1} (26.27 Qq ha^{-1}), presentándose diferencias altamente significativas ($p<0.01$). La dinámica de producción generada entre los ciclos de cosecha y el arreglo en espaciamiento, está caracterizada por diferencias estadísticas significativas en el rendimiento cuando se produce abundante cosecha; las diferencias entre densidad de plantación se manifiestan mostrando diferencias significativas, mientras que los ciclos de baja producción no difieren significativamente entre densidades (Figura 9.2). El rendimiento de café pergamino es influenciado de manera significativa por el arreglo de espaciamientos; el rendimiento promedio de los dos espaciamientos a lo largo de seis ciclos de cosecha mostró una diferencia de 710 kg ha^{-1}. Además, en los ciclos 2007, 2008, 2009 y 2011 existen diferencias significativas entre densidades. Las desigualdades en rendimientos de café pergamino entre arreglos se reducen notablemente en los ciclos de producción baja del cafetal; sin embargo, en los periodos de producción alta difieren de manera más notable (Figura 9.2). Al calcular el rendimiento de café pergamino acumulado en los seis ciclos, se tiene una cantidad de 13.32 t ha^{-1} con la densidad alta y con la baja apenas de 9.08 t ha^{-1}, separándose en promedio 4.24 t ha^{-1} (73.7 Qq ha^{-1}). La menor densidad de cafetos está en función de propiciar la producción de madera asociada al

cafetal; sin embargo, en el experimento, las especies de sombreado no alteraron el rendimiento de pergamino en forma diferenciada estadísticamente explicada.

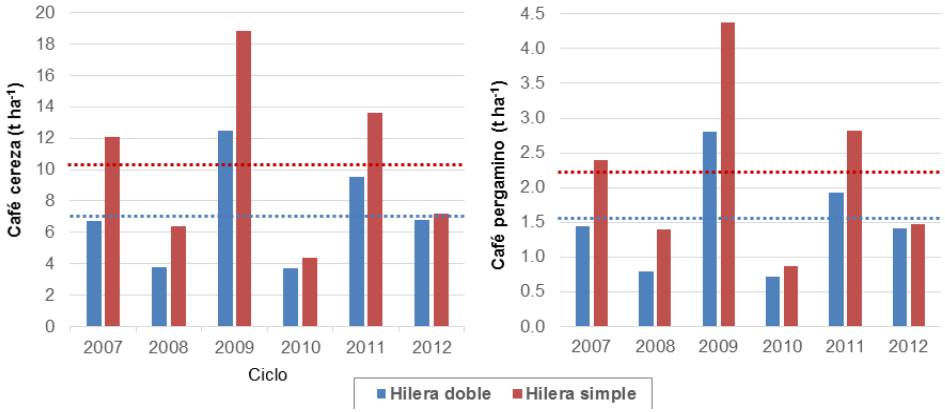


Figura 9.2. Producción de café cereza y pergamino en la interacción ciclo-arreglo.

Influencia de las especies de sombra en el rendimiento. Las especies de sombreado no mostraron influencia en la producción de café cereza durante los seis ciclos considerados en el análisis. Los valores promedio de producción bajo la sombra de las especies fueron: 9.3, 8.8, 8.6 y 8.3 t ha^{-1} para el cedro rosado (*A. fraxinifolius*), la bracatinga (*M. scabrella*), la pawlonia (*P. elongata*) y el ixpepe (*T. micrantha*), respectivamente. La producción promedio de café pergamino a lo largo de seis ciclos de cosecha bajo la sombra de diferentes especies forestales, fue en el cedro rosado 1.97 t ha^{-1}, bajo la bracatinga 1.90 t ha^{-1}, la pawlonia 1.84 t ha^{-1} y el ixpepe 1.75 t ha^{-1}; sin embargo, no presentan diferencias estadísticamente significativas. Tal vez no se notan diferencias debido a que los ciclos de producción son alternadamente altos y bajos, lo que hace que las varianzas sean muy grandes y no se puedan detectar diferencias de producción por especie o simplemente ninguna de las especies ensayadas tuvo efecto adverso en la producción.

Relación cereza-pergamino. Los kilogramos necesarios de fruto fresco para formar un quintal de café pergamino seco, se conoce como la "relación cereza-pergamino", misma que presentó diferencias estadísticamente significativas entre medias por arreglo de plantación, especie de sombreado y ciclo de cosecha. Las interacciones significantes se presentaron entre el arreglo de

plantación y las especies de sombreado con los ciclos de cosecha. El arreglo de plantación presentó diferencias significativas (p=0.0186) entre densidades: las hileras sencillas (3,333 cafetos y 278 árboles ha^{-1}) con una relación promedio de 275.12 kg Qq^{-1}, y en la hilera doble (2,667 cafetos y 333 árboles ha^{-1}) con una relación de 279.64 kg Qq^{-1}; las diferencias pueden deberse a la relación directa con el sombreado provocado por la densidad de árboles presentes por hectárea.

Las especies de sombreado. Las especies forestales maderables con relaciones cereza-pergamino altas, fueron *T. micrantha* con 282 kg Qq^{-1} y *A. fraxinifolius* con 279 kg Qq^{-1}. La relación cereza-pergamino más baja fue con *M. scabrella* con 272 kg Qq^{-1}, sin presentar diferencias significativas respecto a *P. elongata* y *A. fraxinifolius* (Cuadro 9.3). Esta variable sería un referente adecuado para elegir las especies a establecer como sombra. Sin embargo, el manejo silvícola al regular la proyección de sombra podría modificar el comportamiento de esta variable; por ejemplo, *T. micrantha*, especie de crecimiento rápido con ramificación abundante y sombreado denso.

CUADRO 9.3. RELACIÓN CAFÉ CEREZA-PERGAMINO POR ESPECIE DE SOMBRA Y SIGNIFICANCIA CONFORME A LA PRUEBA DE TUKEY.

GRUPOS DE TUKEY	PROMEDIO DE LA RELACIÓN CEREZA-PERGAMINO (kg Qq^{-1})	ESPECIES DE SOMBREADO
A	272.56	Bracatinga (*M. scabrella*)
A B	275.19	Paulownia (*P. elongata*)
A B C	279.26	Cedro rosado (*A. fraxinifolius*)
C	282.49	Ixpepe (*T. micrantha*)

Los dos primeros ciclos de cosecha (2006/2007 y 2007/2008) no mostraron diferencias, pero en el tercer ciclo (2008/2009), un año de producción alta, se presentó la menor relación cereza-pergamino y es diferente estadísticamente a la relación dada en los demás ciclos (Figura 9.3). La relación cereza-pergamino está en función de la cantidad de mesocarpio que la cereza contiene, y el fruto de café es más grande cuando se tiene mayor proyección de sombra. En este sentido, el tamaño de los árboles y su sombra tienen un efecto significativo en los últimos tres ciclos de cosecha, donde los frutos de café presentaron mayor volumen, que podría explicar una relación mayor a 280 kg Qq^{-1}. Las relaciones cereza-pergamino no se mantienen constantes durante todos los ciclos, fluctúan en diferentes magnitudes tal y como se presentan, lo cual permite

observar las complejas relaciones que se están mostrando entre las especies y los cafetos.

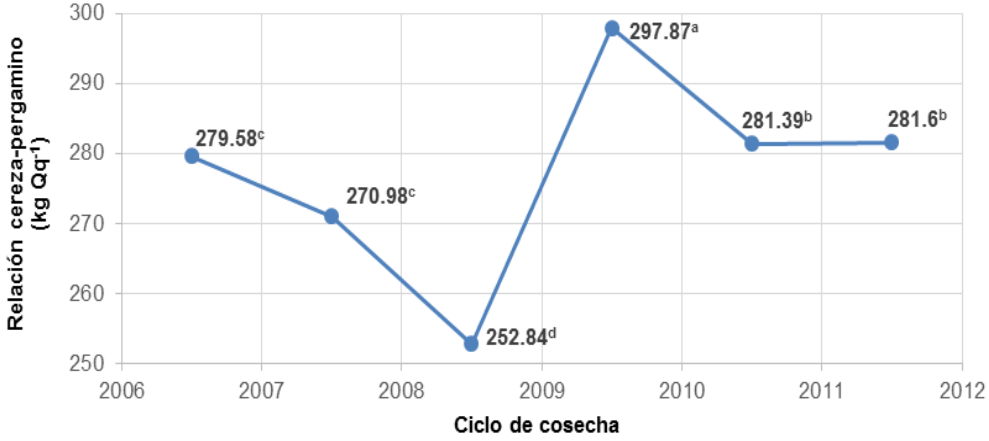


Figura 9.3. Relación café cereza-pergamino a través de los ciclos de cosecha.

Las actividades de manejo (regulación de sombra principalmente) tienen como resultado en esta variable los cambios que se observan en la Figura 9.4 en el ciclo 2009/2010, donde se resalta una diferencia entre el ixpepe y las demás especies; sin embargo, el ixpepe sólo tiene diferencias con la paulownia, y si se observan, después del primero, los demás ciclos presentan diferencias muy pequeñas entre especies, aunque cambian de orden.

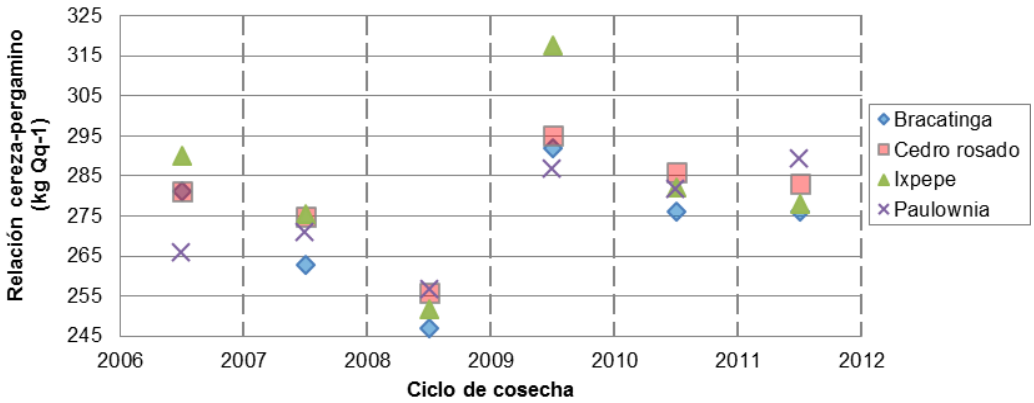


Figura 9.4. Relación cereza-pergamino por ciclo y bajo la sombra de especies arbóreas.

Frutos vanos y granos planchuela. Se analizaron ambas variables, sin encontrar efecto relacionado con la densidad ni con las especies de sombreado. Únicamente los ciclos de cosecha presentaron diferencias altamente significativas en los frutos vanos y granos planchuela (F= 11.27, 49.74, respectivamente, gl = 5, p<0.0001); sin embargo, es posible que el factor climático tenga influencia en los ciclos de cosecha, ya que la cantidad de granos vanos se relaciona negativamente al rendimiento de café por cada ciclo, pudiéndose observar que cuando el promedio de rendimiento de café pergamino es alto, la tendencia de la producción de granos vanos es a la baja. Mientras que los granos planchuela a través de su evaluación por ciclo, generaron una curva donde la cantidad de este tipo de grano se eleva con respecto a los ciclos, manteniendo una tendencia a elevarse y bajar escasamente en los dos últimos ciclos (Figura 9.5).

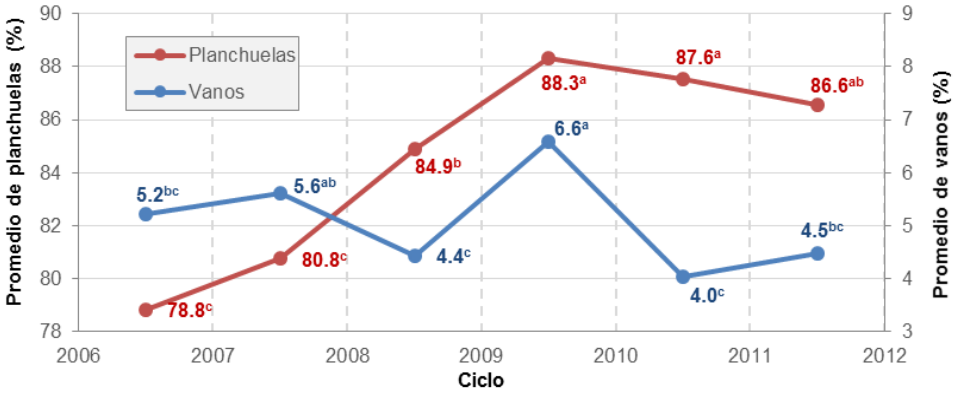


Figura 9.5. Expresión del porcentaje de granos planchuela a través de los ciclos de cosecha.

9.4. Variables dasonómicas registradas y su análisis de varianza

Se analizaron las variables altura de árbol y diámetro a la altura de pecho (DAP), generándose a partir de éstas, las variables área basal del rodal coetáneo y volumen de madera con corteza. El análisis se concreta a la última toma de datos realizada a finales del invierno 2011/2012, a los 8.8 años después de establecidos los árboles de sombra. Los resultados se muestran en el Cuadro 9.4, donde se observan diferencias estadísticas altamente significativas entre las especies arbóreas, para todas las variables.

A pesar de existir diferencias en altura de árboles entre densidades, sin que hayan sido estadísticamente explicadas, se observa interacción significativa en el ANDEVA entre densidad y especie, la cual se debe al crecimiento registrado por cedro rosado e ixpepe, tanto en hileras sencillas (HS) con una densidad de 277 árboles y 3,333 cafetos ha^{-1}, como en hileras dobles (HD) a una densidad de 333 árboles y 2,667 cafetos ha^{-1}. El arreglo de la plantación tiene diferencias significativas en el crecimiento de la altura total del árbol, el crecimiento del área basal y el rendimiento de madera. El efecto de la especie y el avance del tiempo producen diferencias significativas en todas las variables registradas. La interacción del arreglo de plantación y la especie solamente fue significativa en el crecimiento en altura total y en el rendimiento del volumen de madera. La interacción entre el arreglo de plantación en el tiempo tuvo diferencias significativas en las variables de área basal y volumen. Asimismo, la especie y el tiempo fueron significativos en todas las variables. Igualmente, la interacción del arreglo de plantación con las especies y el tiempo, fue significativa en las variables de altura total y volumen de madera.

CUADRO 9.4. VALORES DE "F" Y SU SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA PARA CUATRO VARIABLES DASONÓMICAS DEL ESTRATO ARBÓREO.

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	ALTURA		DIÁMETRO		ÁREA BASAL		VOLUMEN DE MADERA	
		VALOR DE F	PROB > F	VALOR DE F	PROB > F	VALOR DE F	PROB > F	VALOR DE F	PROB > F
Bloque	3	9.13	**0.0001**	3.92	**0.0219**	3.49	**0.0349**	4.19	**0.0183**
Arreglo de plantación	1	12.87	**0.0009**	2.78	0.1093	19.28	**0.0002**	26.9	**<.0001**
Especie de árbol	3	80.87	**<.0001**	17.45	**<.0001**	11.95	**<.0001**	24.84	**<.0001**
Edad	5	543.12	**<.0001**	310.07	**<.0001**	60.17	**<.0001**	73.01	**<.0001**
Arreglo x Especie	3	12.47	**<.0001**	1.02	0.4029	2.66	0.0718	5.29	**0.0059**
Arreglo x Edad	5	1.63	0.1601	1.02	0.4084	6.34	**<.0001**	10.79	**<.0001**
Especie x Edad	15	24.54	**<.0001**	7.77	**<.0001**	4.9	**<.0001**	11.31	**<.0001**
Arreg. x Esp. x Edad	15	2.48	**0.0037**	0.58	0.8838	1.33	0.2041	3.49	**0.0001**

Efecto de la especie en las variables dasonómicas. Los valores presentados por especie están promediados a través del tiempo, y no son los valores promedio de la última medición. Respecto a la altura total, el ixpepe sobresale por su rápido crecimiento, al igual que el cedro rosado, mostrando valores semejantes al comparar especies, superando a la bracatinga y la paulownia en

un 30%. En el resto de las variables dasonómicas, el ixpepe supera de manera significativa a las demás especies: en diámetro, con un margen de 27% a 30%, en área basal, de 36% a 60% y en volumen de madera, de 33% a 75%. La bracatinga y la paulownia presentaron los valores más bajos, formando un grupo respecto a la prueba de Tukey (Cuadro 9.5).

CUADRO 9.5. VARIABLES DASONÓMICAS DE LAS ESPECIES DE SOMBRA.

ESPECIE DE SOMBREADO	ALTURA (m)*	DIÁMETRO (cm)	ÁREA BASAL ($m^2\ ha^{-1}$)*	VOLUMEN DE MADERA ($m^3\ ha^{-1}$)*
Ixpepe	12.17 a	19.93 a	10.28 a	91.03 a
Cedro rosado	12.09 a	14.34 b	6.57 b	61.00 b
Bracatinga	8.90 b	13.87 b	4.02 b	22.81 c
Paulownia	8.10 b	14.55 b	5.39 b	30.40 c

* Letras diferentes indica diferencias significativas al 0.05 de probabilidad.

Efecto del arreglo de plantación en las variables dasonómicas. Los valores presentados por arreglo de plantación están promediados a través del tiempo. El crecimiento en altura de los árboles de sombreado es afectado por la cantidad de cafetos; así, en el arreglo de hilera sencilla, el crecimiento promedio fue 8% menor que el obtenido en hileras dobles. En el caso del diámetro no se encontraron diferencias significativas debidas al arreglo de plantación. Para las variables área basal y volumen, la densidad de árboles por hectárea determina significativamente la magnitud en ambas, por lo que la diferencia en área basal fue de 42% y 49% en volumen (Cuadro 9.6).

CUADRO 9.6. VARIABLES DASONÓMICAS EN LOS ARREGLOS ESPACIALES.

ARREGLO DE PLANTACIÓN	ALTURA (m)**	DIÁMETRO (cm) ^{ns}	ÁREA BASAL ($m^2\ ha^{-1}$)**	VOLUMEN DE MADERA ($m^3\ ha^{-1}$)**
Hilera doble	10.73	16.25	8.33	68.27
Hilera sencilla	9.89	15.09	4.80	34.85

** Diferencias altamente significativas y ns =no significante.

Efecto del tiempo en las variables dasonómicas. Los promedios por año, que se muestran en el Cuadro 9.7 se calcularon con el total de especies y arreglos utilizados en el experimento, presentando diferencias en todas las edades.

CUADRO 9.7. VARIABLES DASONÓMICAS A TRAVÉS DEL TIEMPO.

AÑOS	ALTURA (m)**	DIÁMETRO (cm)	ÁREA BASAL ($m^2\ ha^{-1}$)**	VOLUMEN DE MADERA ($m^3\ ha^{-1}$)**
1.42	3.05	3.85	0.33	0.433
2.42	6.07	9.31	1.94	5.967
3.25	7.93	13.40	4.08	16.773
5.83	12.66	19.51	8.70	61.187
7.75	15.41	23.05	11.06	96.452
8.83	16.74	24.91	13.29	128.550

** Diferencias altamente significativas y ns =no significante.

Como se puede observar en la Figura 9.6 donde se promediaron los volúmenes de madera y el área basal por hectárea, de todas las especies en los años considerados, las diferencias estadísticamente significativas se presentan poco después de la tercera medición (3.25 años de edad de árboles) en el año 2006.

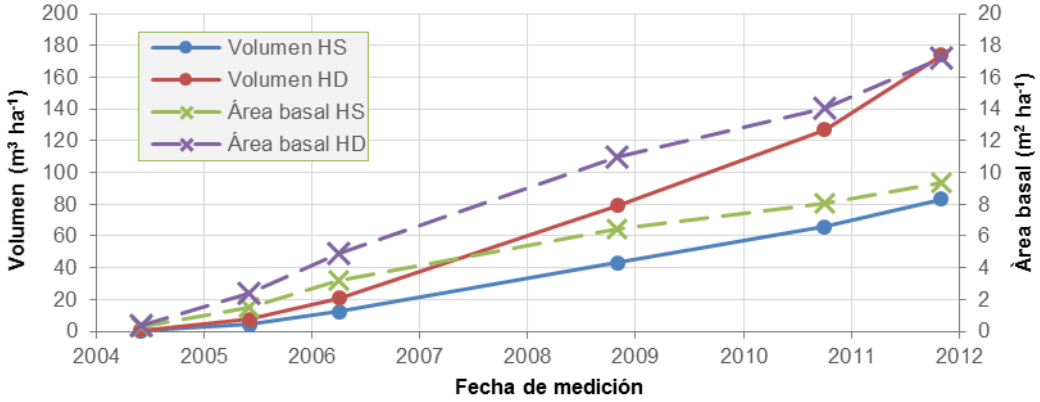


Figura 9.6. Incremento en volumen y área basal a lo largo del tiempo para dos arreglos espaciales.

En la última medición (8.8 años), las diferencias entre arreglos de plantación son significativas respecto al volumen de madera y área basal acumulado, con más del 100% y 84% respectivamente en cada variable. El arreglo de hilera doble muestra un resultado favorable para la diversificación productiva con especies maderables debido al volumen de madera acumulado en la plantación en comparación al arreglo de hilera sencilla.

Interacción arreglo de plantación y especie de sombreado. El arreglo de plantación, es decir la cantidad de cafetos y árboles, tiene un efecto en el crecimiento en altura para la especie cedro rosado, que presentó una diferencia significativa de 22% entre arreglos de hilera sencilla e hilera doble. La literatura describe en múltiples especies de importancia forestal, que el crecimiento en altura en rodales coetáneos de los árboles dominantes y co-dominantes es poco influenciado por la densidad del rodal (Daniel *et al.,* 1982; Clutter *et al.,* 1983); sin embargo, existen especies en donde la densidad tiene influencia como en *Pseudotsuga menziesii* (Reukema, 1970). En el experimento, la bracatinga, el ixpepe y la paulownia no presentaron diferencias significativas entre arreglos (Cuadro 9.8), es decir, no son afectados por la competencia entre árboles y cafetos. Se encontraron diferencias significativas en el volumen de madera acumulado por especie bajo diferentes arreglos de plantación; en este caso, el ixpepe presenta diferencias significativas debido a la densidad de árboles establecidos por hectárea. Así, en el arreglo de plantación hilera doble se tuvo 55% más volumen de madera en promedio, que, en hilera sencilla, considerando los diferentes años en que se realizó la evaluación.

CUADRO 9.8. PRUEBA DE TUKEY-KRAMER PARA ALTURA Y VOLUMEN DE LAS ESPECIES DE SOMBRA BAJO DIFERENTES ARREGLOS ESPACIALES.

ARREGLO DE PLANTACIÓN	ESPECIE DE SOMBRA	ALTURA TOTAL (m)	Pr > |t| Tukey	VOLUMEN (m^3 ha^{-1})	Pr > |t| Tukey
H. Doble	Bracatinga	8.34	0.2665	25.1	0.9999
H. Sencilla		9.44		20.5	
H. Doble	Cedro rosado	13.58	**<.0001**	84.2	0.0508
H. Sencilla		10.59		39.8	
H. Doble	Ixpepe	12.62	0.4697	125.4	**0.0002**
H. Sencilla		11.70		56.6	
H. Doble	Paulownia	8.38	0.9325	38.4	0.9232
H. Sencilla		7.81		22.4	

Interacción tiempo por especie. El resultado de la interacción entre el tiempo y las especies son las funciones de crecimiento, pero sin considerar un arreglo de la plantación. Los cambios que presentan las especies a través del tiempo en las diferentes variables analizadas muestran el comportamiento particular de cada especie. La especie que más cambió durante los 8.8 años de mediciones fue el cedro rosado; en la primera medición (1.4 años) presentó los valores más

bajos, sobrepasando a todos en la tercera medición (3.25 años) y fue superado por el ixpepe en la cuarta medición (5.9 años), pero con registros muy cercanos al ixpepe en la última medición. De hecho, el ixpepe y el cedro rosado tuvieron una curva de crecimiento en altura muy similar, aunque con cambio de posición entre mediciones. La bracatinga y la paulownia tienen una curva de crecimiento en altura similar y se diferencian claramente con respecto a las otras dos especies, como se observa en la Figura 9.7. El crecimiento en altura de la bracatinga se conservó por arriba del de la paulwonia durante todo el experimento. Estas dos especies se encuentran en la etapa final de crecimiento en altura, porque el crecimiento entre las dos últimas mediciones no muestra ya diferencias estadísticamente significativas, caso contrario con el ixpepe y el cedro rosado, que siguen mostrando diferencias significativas en su crecimiento.

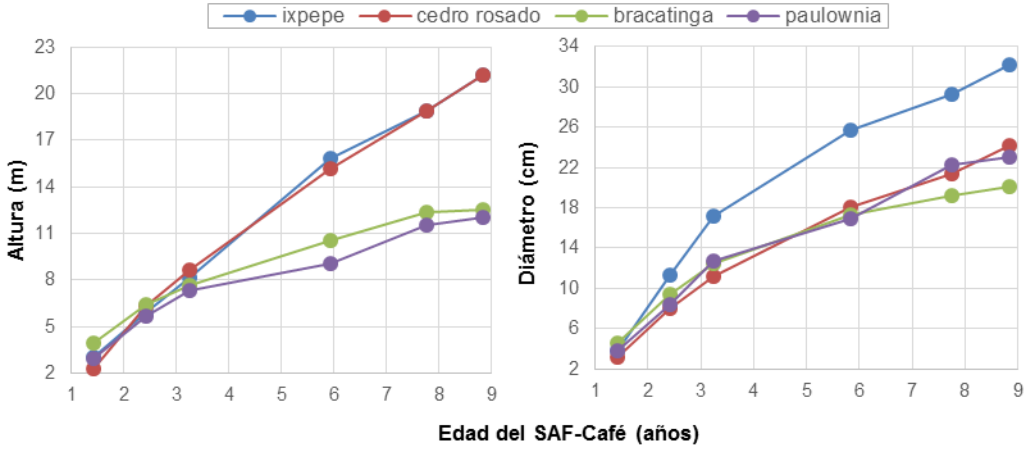


Figura 9.7. Medición del crecimiento en altura y diámetro en diferentes edades.

El crecimiento en diámetro está dominado por la bracatinga en la primera medición, pero al pasar el tiempo, su incremento se cambia de lugar hasta quedar en los últimos años con el menor desarrollo de diámetro; el cedro rosado junto con la paulownia muestran una curva de desarrollo muy similar, quedando en segundo y tercer lugar en la última medición, y el ixpepe que desarrolló desde la segunda medición un amplio crecimiento de diámetro, separándose del tercer año en adelante y logrando un grosor de más de 30 cm a los casi nueve años, quedando las otras especies entre 20 y 24 cm a la misma edad. El incremento en diámetro del ixpepe y el cedro rosado presentó diferencias

significativas, mientras que el de la bracatinga y de la paulownia no, lo que significa que, en estas últimas, el crecimiento está llegando a su culminación (Figura 9.7). El incremento de área basal es superior en el ixpepe sobre las demás especies, desde el tercer año de desarrollo, llegando a 21.6 m^2 ha^{-1}, seguido por el cedro rosado, la paulownia y la bracatinga con 14.6, 10.6 y 7.1 m^2 ha^{-1} respectivamente. Las curvas de área basal muestran un declive en el crecimiento de las especies paulownia y bracatinga, mientas que el ixpepe y el cedro rosado siguen su desarrollo ascendente (Figura 9.8).

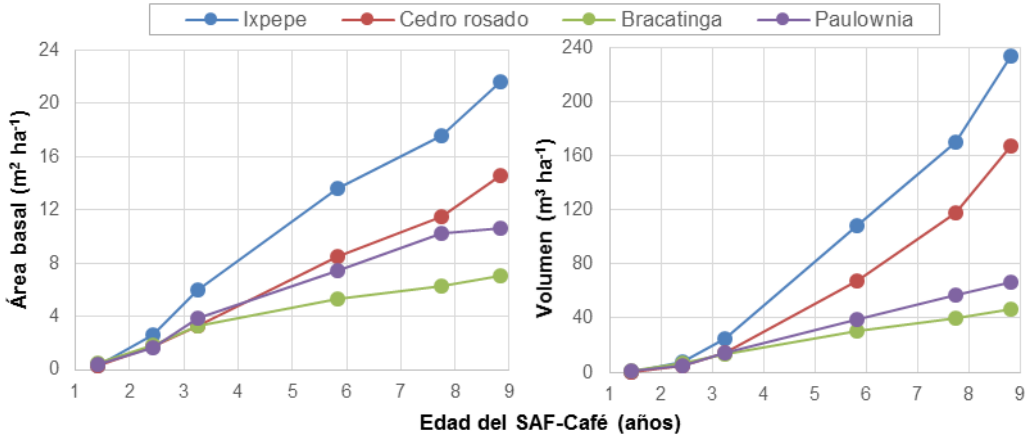


Figura 9.8. Crecimiento del área basal y volumen de madera total por especie de sombra.

El volumen por especie también presenta intercambio de posiciones conforme se avanza en el tiempo; prácticamente se observan tres curvas de crecimiento en volumen: una representada por el ixpepe con el mayor incremento y actualmente en desarrollo, otra por el cedro rosado que presenta crecimiento de menor magnitud y la tercera representada por las curvas de la bracatinga y la paulownia, que presentan un crecimiento mucho menor y que comienza a llegar a su culminación (Figura 9.8).

Modelos de crecimiento en altura por arreglos de plantación. Para explicar a mayor detalle el crecimiento observado en el experimento, es necesario analizar el desarrollo de las variables a través del tiempo, considerando los diferentes arreglos de plantación. De esta manera se tendrá mayor información respecto al mejor arreglo y especie arbórea como sombra. Con base en lo anterior, se

buscaron modelos de crecimiento, encontrando en el modelo Gompertz el mejor ajuste para la bracatinga y el ixpepe, y el modelo Chapman–Richards para el cedro rosado y la paulownia (Cuadro 9.9).

CUADRO 9.9. MODELOS AJUSTADOS DEL CRECIMIENTO DE ALTURA TOTAL POR ESPECIE Y ARREGLO EN EL SAF-CAFÉ.

ESPECIE DE SOMBREADO	ARREGLO DE PLANTACIÓN	CRECIMIENTO EN ALTURA: MODELO AJUSTADO	R^2
Ixpepe	Hilera sencilla	$Y = 22.30941e^{-3.505165e^{-0.38158*t}}$	0.9617
	Hilera doble	$Y = 26.88675e^{-3.228113e^{-0.313248*t}}$	0.9660
Cedro rosado	Hilera sencilla	$Y = 22.30(1 - e^{-0.254757*t})^{1.863299}$	0.9677
	Hilera doble	$Y = 37.73303(1 - e^{-0.146187*t})^{1.437609}$	0.9927
Bracatinga	Hilera sencilla	$Y = 15.28527e^{-2.12167e^{-0.348195*t}}$	0.8826
	Hilera doble	$Y = 11.62052e^{-1.984917e^{-0.461927*t}}$	0.8448
Paulownia	Hilera sencilla	$Y = 17.49075(1 - e^{-0.11623*t})^{0.865507}$	0.9598
	Hilera doble	$Y = 15.50826(1 - e^{-0.196056*t})^{1.058496}$	0.9677

El ajuste de los modelos da como resultado una constante, donde el crecimiento tiende a mantenerse, y es conocido como asíntota, es decir, es el crecimiento máximo al que puede llegar al final del ciclo de vida dentro del modelo ajustado. Las asíntotas estimadas para el crecimiento en altura, están dentro de los rangos mencionados en la literatura (Cuadro 9.10); sin embargo, el cedro rosado presenta una mayor a la reportada en el arreglo de hilera doble. Sin embargo, todas las especies con excepción de la paulownia, presentaron una asíntota mayor en hilera doble que en hilera sencilla.

CUADRO 9.10. ASÍNTOTAS ESTIMADAS DE CRECIMIENTO EN ALTURA DE ÁRBOLES.

ESPECIE DE SOMBRA	ASÍNTOTAS ESTIMADAS (m)		ASÍNTOTAS REPORTADAS POR OTROS AUTORES (m)
	H. Doble	H. Sencilla	
Bracatinga	15.38	11.62	20 m (EMBRAPA-CNPF, 1988; SIRE, 2007a)
Cedro rosado	37.30	22.3	35 m (SIRE, 2007a)
Ixpepe	26.88	22.3	30 m (Vázquez-Yanes *et al*., 1999)
Paulownia	15.5	17.49	30 m (Xiong, 1990)

El crecimiento inicial de la bracatinga fue similar en los dos arreglos de plantación y al tercer año disminuyó su crecimiento en el arreglo de hilera doble,

no así en hilera simple, donde se observó mayor altura de la especie. Esto parece indicar que las especies leguminosas y su simbiosis con *Rhizobium* les permite desarrollar adecuadamente con densidades semintensivas de café. Caso contrario se observa en el cedro rosado, donde su crecimiento se reduce en presencia de mayor cantidad de cafetos, por lo que posiblemente la altura es afectada por la densidad de éstos. Esta relación ya fue demostrada en las pruebas de hipótesis anteriormente (Figura 9.9). El ixpepe muestra un retraso en la tasa de crecimiento a partir del sexto año, en el arreglo de hilera sencilla. Sin embargo, esta relación no resultó significativa en la prueba de hipótesis.

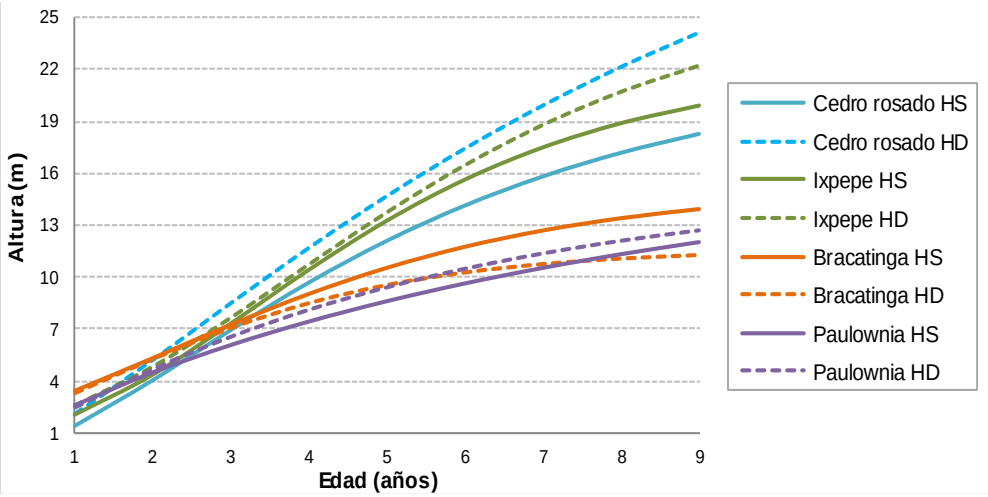


Figura 9.9. Curvas de crecimiento ajustadas para altura de especies de sombra en dos arreglos topológicos del cafetal.

Modelos de crecimiento en diámetro por arreglos de plantación. El modelo que se ajustó mejor a los datos de crecimiento en diámetro normal para el cedro rosado y el ixpepe, fue el de Chapman-Richards, en los dos arreglos de plantación, mientras que para la bracatinga fue el modelo de Weibull en ambos arreglos de plantación. Los coeficientes de determinación para la paulownia son un poco más bajos que para el resto de las especies, debido al alto número de individuos muertos (fallas) que ha presentado el experimento, ajustándose con el modelo logístico para hilera sencilla y con el modelo de Gompertz para hilera doble (Cuadro 9.11).

CUADRO 9.11. MODELOS AJUSTADOS AL CRECIMIENTO DEL DIÁMETRO NORMAL POR ESPECIE Y ARREGLO DEL SAF-CAFÉ.

ESPECIE DE SOMBREADO	ARREGLO DE PLANTACIÓN	CRECIMIENTO EN DIÁMETRO: MODELO AJUSTADO	R^2
Ixpepe	Hilera sencilla	$Y = 31.51788(1 - e^{-0.471135*t})^{2.674672}$	0.9361
	Hilera doble	$Y = 34.22687(1 - e^{-0.399924*t})^{2.362267}$	0.9597
Cedro rosado	Hilera sencilla	$Y = 27.78828(1 - e^{-0.223086*t})^{1.568918}$	0.9751
	Hilera doble	$Y = 30.65283(1 - e^{-0.253839*t})^{1.632484}$	0.9504
Bracatinga	Hilera sencilla	$Y = 19.75345(1 - e^{-0.170968*t^{1.520267}})$	0.9388
	Hilera doble	$Y = 20.81715(1 - e^{-0.174773*t^{1.312788}})$	0.8568
Paulownia	Hilera sencilla	$Y = 26.93428/(1 + 6.94778 * e^{-0.445469*t})$	0.7232
	Hilera doble	$Y = 33.50155e^{-2.819794e^{-0.28782*t}}$	0.8879

Las asíntotas de crecimiento para el diámetro son de 31.5 y 34.2 cm para los arreglos de 278 y 333 árboles por hectárea respectivamente, que quedan muy por abajo de lo esperado según la literatura, con 70 cm para *T. micrantha* (SIRE, 2007b); esto es un indicador de falta de datos para las últimas etapas de crecimiento de la especie, que seguirán midiéndose; sin embargo, insuficientes para concluir por ahora. Cabe mencionar, que, en poblaciones de árboles tropicales, la función del crecimiento es una expresión multivariante en espacio y tiempo, que responde a factores endógenos y exógenos, por lo que las tasas de crecimiento varían de manera importante tanto por causas interespecíficas (por ejemplo, nutrientes o espacio vital), como por razones de tipo intraespecífico (Ramírez *et al*., 2009).

Este trabajo experimental consideró el criterio de estudio de plantaciones establecidas, en donde se conoce la edad de las especies plantadas (Galán *et al*., 2008). En contraposición, está la posibilidad de usar los anillos anuales de crecimiento, que permiten obtener, con alto grado de confianza, en una fracción del tiempo y a muy bajo costo, las curvas de crecimiento de árboles tropicales durante todo su periodo de vida (Brienen y Zuidema, 2006), evitándose los sesgos que se suscitan en las plantaciones permanentes por pérdida de árboles. Sin embargo, Ramírez *et al*. (2009), citando varios autores, indica que la mayoría de estudios sobre crecimiento en árboles tropicales, están basados en estimaciones a partir de mediciones repetidas, debido a que el análisis de los anillos de crecimiento, aún no es tan confiable como lo es en las regiones templadas. Sin embargo, en algunas especies, mencionan los mismos autores,

se ha encontrado cierto patrón de formación de madera relacionado con la periodicidad de la precipitación, sobre todo en ambientes donde se denota una marcada estacionalidad de la época de lluvias.

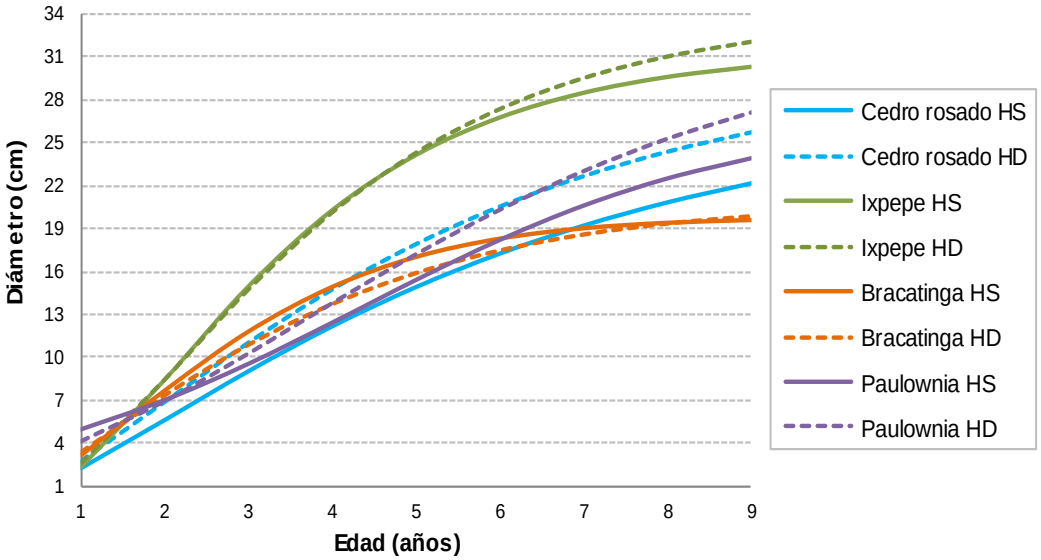


Figura 9.10. Curvas de crecimiento ajustadas para diámetro de especies de sombra en dos arreglos espaciales.

Cálculo de volúmenes de madera en *T. micrantha*. A partir de las funciones de crecimiento de altura y diámetro presentadas, se hizo una estimación del crecimiento promedio en volumen de madera para ixpepe en un arreglo de hilera simple, calculándose tasas absolutas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en función de la edad (Cuadro 9.12). Cabe considerar que las estimaciones están ligadas a las condiciones de crecimiento del ambiente del Sitio Experimental Teocelo, así como su interacción con los cafetales.

Con esta tabla de resultados fue posible conocer la acumulación de madera en cada año, observándose que el incremento corriente anual se va acrecentando con el tiempo hasta un máximo al sexto año, donde después comienza a ser menor. El incremento medio anual llega a su máximo a los ocho años, y posteriormente disminuye. Se observa que después del tercer año, el ICA está por arriba de 20 m^3/ha/año, lo cual es un punto de referencia que se tiene para

la definición de plantaciones forestales comerciales de rápido crecimiento (Cossalter y Pye-Smith, 2003). En este ejemplo, se puede determinar el tiempo de corte de la plantación, alrededor de los nueve años, siguiendo el criterio de cruce del ICA y el IMA, conocido como turno técnico de aprovechamiento (Figura 9.11) y con éste, se puede generar información para hacer un análisis financiero de la producción de madera en un SAF-Café.

CUADRO 9.12. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE MADERA DE IXPEPE EN HILERA SENCILLA.

EDAD (años)	ALTURA (m)	DIÁMETRO NORMAL (cm)	VOLUMEN DE MADERA		ICA (m^3)	IMA (m^3/año)
			(m^3 árbol^{-1})	(m^3/ha)		
1	2.037	2.298	0.00042	0.117	0.117	0.117
2	4.353	8.411	0.012	3.362	3.245	1.681
3	7.310	14.952	0.064	17.841	14.479	5.947
4	10.414	20.285	0.168	46.784	28.943	11.696
5	13.261	24.145	0.303	84.401	37.616	16.880
6	15.640	26.771	0.440	122.375	37.974	20.395
7	17.505	28.497	0.558	155.205	32.829	22.172
8	18.905	29.610	0.650	180.955	25.749	22.619
9	19.924	30.318	0.719	199.942	18.986	22.215

ICA= Incremento Corriente Anual: diferencia de crecimiento de un año a otro.
IMA= Incremento Medio Anual: volumen entre el año en curso.

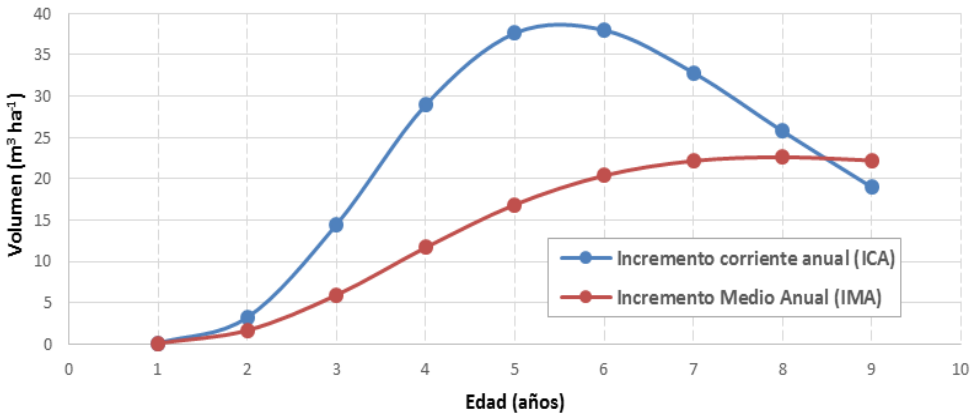


Figura 9.11. Turno técnico de aprovechamiento de *T. micrantha* conforme al criterio de cruce del ICA y el IMA.

9.5. Conclusiones

Los datos generados en una plantación de café bajo la sombra de cuatro arbóreas maderables de crecimiento rápido, muestran que la producción de café cereza y pergamino no presentan diferencias significativas, siempre y cuando se cuide de tener un manejo adecuado en la regulación de sombra de cada especie. Los arreglos espaciales de cafetos y árboles afectaron significativamente la producción de café cereza y café pergamino, así como la relación cereza-pergamino, facilitándose en los ciclos de producción elevada el observar dichas diferencias. La cantidad de frutos vanos presenta relación negativa con el comportamiento bienal de la producción. Sin embargo, el porcentaje de granos planchuela se incrementa al transcurrir el tiempo, observándose cierta tendencia a disminuir en los dos últimos ciclos analizados. Las especies maderables acumularon un volumen de entre 5.8 y 18.9 m^3 ha^{-1} por año siendo el ixpepe y el cedro rosado, las más productivas y en consecuencia de rápido crecimiento. La distribución en hilera doble propició de manera significativa un crecimiento mayor en los árboles en cuanto a sus variables dasonómicas. Las ecuaciones ajustadas y las curvas de crecimiento pueden usarse para la toma de decisiones respecto a la selección de especies arbóreas, dentro de un plan de producción de café bajo sistemas agroforestales con fines de producción de madera. Es preciso asentar la trascendencia que tienen este tipo de investigaciones, tanto en términos económicos, como ecológicos, ya que permiten generar planteamientos en el uso de especies forestales maderables como un componente tecnológico a establecer a fin de lograr mayor eficacia en productividad del agroecosistema café.

Las especies de crecimiento rápido, llamadas “pioneras”, exigentes de claros en los ecosistemas forestales, al ser introducidas en el sombreado de cafetales, puede que alcancen su ciclo de turno antes de los 15 años. Especies llamadas de crecimiento lento o “clímax” dentro de ecosistemas boscosos naturales, quizás demanden más de 30 años para su aprovechamiento al ser introducidas al agroecosistema café en el estrato de sombreado. Estas apreciaciones están conforme a características de especies mencionadas por Burns *et al*. (1998) y Pennington y Sarukhán (2012).

Las prácticas silvícolas que el cafeticultor hace sobre el recurso forestal de la finca se limitan al aprovechamiento selectivo de los individuos con valor

comercial. Sin embargo, es un hecho que el manejo silvícola del rodal coetáneo que conforma el estrato de sombreado, ayuda a mejorar la productividad de la plantación de café, al mismo tiempo que contribuye con la conservación de especies forestales maderables que formaron parte del bosque primario que el cafetal sustituyó.

Literatura citada

Aguilar, R. M. 1991. Comparación de cuatro modelos matemáticos aplicados al crecimiento forestal. Revista Ciencia Forestal en México 16(70):87-108.

Barton, I. L., I. D. Nocholas and C. E. Ecroyd. 2007. Paulownia. Forest Research Bulletin No. 231. New Zealand Forest Research Institute. Totorua, New Zealand. 71 p.

Beer, J., R. Muschler, D. Kass and E. Somarriba. 1998. Shade management in coffee and cocoa plantations. Agroforestry Systems 38:139-164.

Brienen, R. and P. A. Zuidema. 2006. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. Forest Ecology and Management 226(1):256-267.

Burns, R. M., M. S. Mosquera y J. L. Whitmore. 1998. Árboles útiles de la región de América del Norte. Comisión Forestal de América del Norte. Publicación No. 3. Washington, DC, USA. 291 p.

Cardona, N. F., H. David H., S. Gómez H. y F. Roldán P. 2011. Flora de embalses. Centrales hidroeléctricas de ISAGEN en el oriente antioqueño San Carlos, Juaguas y Calderas. Guía Ilustrada. ISAGEN. Universidad de Antioquia. Herbario Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 230 p.

Castillo, P. G. 2005. Impacto de siete MoCATT´s en el proceso de adopción y transferencia de tecnología. Informe Final del Proyecto Nacional de Transferencia de Tecnología. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Xalapa. Xalapa, Ver. 48 p.

Chinese Academy of Forestry. 1986. Paulownia en China: Cultivation and utilization. Asian Network for Biological Sciences and International Development Research Centre. Singapure, Singapure. 65 p.

Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister and R. L. Bailey. 1983. Timber management: A quantitative approach. John Wiley and Sons Inc.New York, NY, USA. 333 p.

Cordero, J., F. Mesén, M. Montero, J. Stewart, D. Boshier, J. Chamberlain, T. Pennington, M. Hands, C. Hughes y G. Detlefsen. 2003. *Inga Jinicuil* Schltdl. & Cham. p. 607-608. *In:* Cordero, J. y D. Boshier (eds.). Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Oxford Forestry Institute. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

Cossalter, C. and C. Pye-Smith. 2003. Fast-wood forestry. Myths and realities. Center for International Forestry Research (CIFOR). Jakarta, Indonesia. 50 p.

Cruz-Márquez, U., P. Negreros-Castillo, C. López-Binnquist y C. W. Mize. 2014. Crecimiento y producción de *Trema micrantha* (L.) Blume, árbol para papel amate. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 20(1):131-142.

Daniel, P. W., U. E. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. McGraw-Hill. México, D. F. 492 p.

Domínguez, A. F. A. 1994. Comportamiento de *Mimosa scabrella* Benth en plantaciones de la región central de Veracruz. Folleto Técnico No. 25. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental El Palmar. Tezonapa, Ver., México. 27 p.

Domínguez, A. F. A. y H. Ramírez M. 1995. Guía para el establecimiento y manejo de plantaciones de bracatinga (*Mimosa escabrella* Benth). Folleto Técnico No. 27. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental El Palmar. Tezonapa, Ver., México. 13 p.

EMBRAPA-CNPF (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria – Centro Nacional de Pesquisa de Florestas).1988. Manual técnico da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth). Documentos 20. EMBRAPA. CNPF. Curitiba, Paraná, Brasil. 70 p.

Escamilla, P. E. y S. Díaz C. 2002. Sistemas de cultivo de café en México. Universidad Autónoma Chapingo. CRUO. CENIDERCAFE. Huatusco, Ver., México. 57 p.

Fassbender, H. W. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Serie de Materiales de Enseñanza No. 29. 2a ed. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 530 p.

Fournier, L. A. 1987. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiológico. Agronomía Costarricense 12(1):131-146.

Galán, L. R., H. M. de los Santos P. y J. I. Valdez H. 2008. Crecimiento y rendimiento de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Madera y Bosques 14(2):65-82.

García, M. L. E., J. I. Valdez H., M. Luna C. y R. López M. 2015. Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra de Atoyac, Veracruz. Madera y Bosques 21(3):69-82.

Gumpertz, M. L. and C. Brownie. 1993. Repeated measures in randomized block and split plot experiments. Canadian Journal of Forest Research 23(4):625-639.

Hernández-Martínez, G. 2008. Clasificación agroecológica. p. 15-34. *In*: Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracuz: Bodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología. Xalapa, Ver., México.

Lambot, Ch. and P. Bouharmont. 2004. Soil protection. p. 270-307. *In*: Wintgens, J. N. (ed.). Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders and Researchers. WILEY-VCH Verlag GmbH. Weinheim, Alemania.

Littell, R. C., G. A. Milliken, W. W. Stroup, R. D. Wolfinger and O. Schabenberger. 2006. SAS for mixed models. 2nd ed. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 814 p.

López, M. R., G. Díaz P., J. G. Salazar G., L. E. García M. y R. A. Guajardo P. 2013. Árboles nativos en el sombreado de cafetales: caso de la zona centro del estado de Veracruz. Libro Técnico No. 35. INIFAP. Veracruz, México. 184 p.

Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales. Proyecto agroforestal. Materiales de Enseñanza No. 45. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Cooperación Técnica Alemana (GTZ). Turrialba, Costa Rica. 139 p.

Nair, P. K. R. 1997. Agroforestería. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 543 p.

Nath, C. D., R. Pélissier, B. R. Ramesh and C. García. 2011. Promoting native trees in shade coffe plantations of Southern India: Comparison of growth rates with the exotic *Grevillea robusta*. Agroforestry Systems 83(2):107-119.

Pennington, T. D. y J. Sarukhán. 2012. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de especies. 3a. ed. Fondo de Cultura Económica. Ediciones Científicas Universitarias. UNAM. México, D. F. 523 p.

Ramírez, A. H., M. Acevedo, M. Ataroff y A. Torres L. 2009. Crecimiento diamétrico de especies arbóreas en un bosque estacional de los llanos occidentales de Venezuela. Ecotrópicos 22(2):46-63.

Ramírez, J. 2009. Hacia la caficultura sostenible. Instituto del Café de Costa Rica. Centro de Investigaciones en Café. San José, Costa Rica. 216 p.

Reukema, D. L. 1970. Fourty-year development of douglas-fir stands planted at various spacings. USDA Forest Service Research Paper PNW-100. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Portland, OR, USA.

Sánchez, C. L. M., S. M. Durán, J. G. Vélez, R. García y J. E. Botero. 2008. Estudios regionales de biodiversidad en las zonas cafeteras de Colombia. Avances Técnicos No. 378. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFÉ). Chinchiná, Caldas, Colombia. 8 p.

SIRE (Sistema de Información para la Reforestación). 2007a. SIRE-Paquetes tecnológicos. Ficha técnica para la reforestación. *Mimosa scabrella* Benth. CONAFOR-CONABIO. http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/946Mimosa%20scabrella.pdf [consultado 18 de junio del 2013].

SIRE, (Sistema de Información para la Reforestación). 2007b. SIRE-Paquetes tecnológicos. Ficha técnica para la reforestación. *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn. CONAFOR-CONABIO. http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/878Acrocarpus%20fraxinifolius.pdf [consultado 18 de junio del 2013].

Toledo, V. M. and P. Moguel. 2012. Coffee and sustainability: The multiple values of traditional shaded coffee. Journal of Sustainable Agriculture 36(3):353-377.

Vaast, P. y D. Snoeck. 1999. Hacia un manejo sostenible de la materia orgánica y de la fertilidad biológica de los suelos cafetaleros. p. 139-170. *In:* Bertrand, B. y B. Rapidel (eds.). Desafíos de la Caficultura en Centroamérica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la caficultura (PROMECAFE). Centro de Cooperación Internacional de Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD). Instituto Francés de Investigación Cientrfica para el Desarrollo en Cooperación (IRD). Centro Cultural y de Cooperación Técnica para América CentralCCCR. José, Costa Rica.

Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis-Muñoz, M. I. Alcocer-Silva, M. Gual-Díaz y C. Sánchez-Dirzo. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte Técnico del Proyecto J084. CONABIO- Instituto de Ecología, UNAM. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/introd-J084.html [consultado el 14 de febrero del 2013].

Whitmore, J. L. y A. Otárola T. 1976. *Acrocarpus fraxinifolius* Wight, especie de rápido crecimiento inicial, buena forma y madera de usos múltiples. Turrialba 26(2):201-204.

Williams-Linera, G. y A. López-Gómez. 2008. Estructura y diversidad de la vegetación leñosa. p. 55-63. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter, (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Xiong, Y. G. 1990. Final report of Paulownia project (phase II) international. The Chinese Academy of Forestry. Development Research Centra (IDRC), Canada. http://archive.idrc.ca/library/document/086352/ [consultado el 8 de agosto de 2007].

Zamarripa, A. C. y R. López M. 2013. Oro Azteca: variedad de café con resistencia a la roya anaranjada. Desplegable Informativa No. 18. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chis., México.

Zeide, B. 1993. Analysis of growth equations. Forest Science 19(3):594-616.

X. Manejo de epífitas de los cafetales de sombra para la diversificación productiva y como fuente alternativa de ingresos

Tarín Toledo Aceves[1], Martín Mata Rosas[2], Milton H. Díaz Toribio[3], Klaus Mehltreter[1], José G. García-Franco[1]

[1] Investigador del Instituto de Ecología A.C. Red de Ecología Funcional.
tarin.toledo@inecol.mx
[2] Investigador del Instituto de Ecología A.C. Red Manejo Biotecnológico de Recursos.
[3] Técnico del Instituto de Ecología A.C. Titular del Jardín Botánico F. X. Clavijero.

10.1. Introducción

Las epífitas son plantas que viven encima de otras, normalmente árboles o arbustos, ya que ahí encuentran condiciones ambientales favorables para su existencia. A diferencia de las plantas parásitas (muérdagos, corrigüelas) que establecen conexión fisiológica con los árboles para obtener sus recursos, las epífitas obtienen el agua y nutrientes que se encuentran en la atmósfera (*v. gr.*, lluvia, polvo) mediante diferentes estructuras que han desarrollado para ello. Por ejemplo, en algunas especies sus hojas forman rosetas que les permiten captar y retener agua, así como detritos (la mayoría de las bromelias y algunos helechos), mientras que otras, como las orquídeas y aráceas presentan cutículas gruesas y raíces con velamen para absorber agua y nutrientes (Benzing, 1990).

Las epífitas son un grupo muy diverso, cerca del 10% de las plantas vasculares conocidas tienen hábito epífito (Gentry y Dodson, 1987), siendo las monocotiledóneas las mejor representadas (ca. 16,608 especies), aunque también están presentes en otros grupos (dicotiledóneas, 4,251 especies, helechos y afines, 2,593 especies, gimnospermas, cinco especies) (Benzing, 1990). Si bien pueden encontrarse en casi cualquier ecosistema, las áreas tropicales contienen la mayor diversidad, y en particular el bosque mesófilo de montaña es donde las pteridofitas (helechos y licopodios), Orchidaceae (orquídeas), Bromeliaceae (bromelias) y Araceae (aráceas) muestran una gran abundancia y riqueza de especies (Rzedowski, 1996). Se considera que esta exuberante abundancia y riqueza es debida a la diversidad de nichos que se distribuyen de manera vertical en el tronco y de forma horizontal-vertical en la copa de los árboles. Esto conlleva a que, de igual manera, una gran diversidad

de organismos vertebrados (aves, reptiles, etc.) (Cruz-Angón *et al.*, 2009), invertebrados (Hernández-Sánchez y García-Franco, 2006) e incluso unicelulares como protozoarios y diatomeas (Durán-Ramírez, 2010) se asocien a estas plantas. En algunos casos, estos organismos asociados son completamente dependientes y específicos de una epífita o un conjunto de especies en una zona particular de los árboles o del bosque.

De esta forma, las epífitas y la comunidad de organismos del dosel con quienes coexisten son enteramente dependientes de los árboles hospederos, por lo que de igual forma son sumamente susceptibles a las perturbaciones, en particular a las provocadas por el hombre por deforestación y cambio de uso de suelo. Por otro lado, muchas especies de epífitas tienen rasgos morfológicos que las hacen muy atractivas como plantas ornamentales en festividades religiosas y para los hogares, como coloración en el follaje y/o flores llamativas. Esto provoca que grandes cantidades de plantas sean extraídas sin control de diferentes ambientes naturales (Flores-Palacios y Valencia-Díaz, 2007; Haeckel, 2008), reduciendo y poniendo en riesgo las poblaciones de muchas de estas especies.

El agrosistema cafetalero es el principal sistema productivo que ha sustituido a los bosques mesófilos. Aunque no tiene la misma estructura y composición de un bosque, ofrece condiciones ambientales a las que algunas plantas epífitas han tenido la capacidad de adaptarse, lo que ha propiciado que los cafetales sean refugio de muchas especies de éstas (Hietz, 2005; Solís-Montero *et al.*, 2005). Algunas epífitas pueden llegar a tener poblaciones tan densas, que por un lado pueden incluso tener efectos nocivos en el cultivo de café, y por otro pueden ser aprovechadas para generar una fuente de ingresos a los dueños.

10.2. Efecto de la remoción de epífitas sobre la productividad de café

El destenche o remoción de epífitas de los árboles de sombra en los cafetales es una práctica común en el estado de Veracruz. Una encuesta realizada en 32 fincas indicó que en el 46% se ha destenchado al menos en una ocasión. Los cafeticultores realizan esta práctica con la finalidad de aumentar la incidencia de luz y disminuir los riesgos de plagas y enfermedades debido a la alta humedad en los cafetos. También se realiza como una forma de mantenimiento o cuidado de los árboles de sombra para reducir el riesgo del rompimiento de

las ramas de los árboles por el peso de las epífitas, y porque erróneamente se consideran a las epífitas como parásitas de los árboles. Después de su remoción, las epífitas derribadas no son utilizadas y se dejan en el suelo del cafetal donde mueren en el corto o mediano plazo por pudrición. Sin embargo, no se conocía cuál es el efecto del destenche en la productividad del café, y tampoco se había considerado el potencial que las epífitas pueden tener como plantas ornamentales. En ninguna de las fincas evaluadas, los cafeticultores entrevistados utilizan las epífitas removidas durante el destenche, pero el 75% estuvo interesado en manejarlas para diversificar la producción.

Para evaluar el impacto del destenche en la productividad de café, realizamos una evaluación en el cafetal La Orduña, municipio de Coatepec. En 2011 establecimos dos tratamientos (1) Remoción de epífitas de los árboles (E^-) y árboles sin remoción de epífitas o control (E^+). Para cada tratamiento se utilizaron 10 árboles de sombra de *Inga jinicuil* y se seleccionaron cuatro plantas de café bajo la cobertura de los mismos. Las actividades de manejo en los cafetos bajo los árboles de los dos tratamientos, fueron las mismas que se realizaron de manera general para toda la finca. En cada cafeto se contó el número de flores y frutos producidos en los años 2011 y 2012. Después de 18 meses de la remoción se encontró que los cafetos bajo los árboles destenchados produjeron 225% más flores y 366% más frutos que los cafetos bajo árboles con epífitas (Cuadro 10.1).

CUADRO 10.1. EFECTO DE LA REMOCIÓN DE EPÍFITAS EN LA PRODUCTIVIDAD DE CAFETOS EN LA ORDUÑA, VERACRUZ (PROMEDIO ± 1 EE), DESPUÉS DE SEIS (2011) Y 18 MESES (2012) DEL DESTENCHE.

	2011		2012	
	E+	E-	E+	E-
No. flores	661.2 ± 71.2	719.0 ± 122	193.3 ± 39.0 a	436.0 ± 146 b
No. frutos	183.6 ± 21.1	216.8 ± 39.3	35.52 ± 5.79 a	130.3 ± 22.2 b

Las letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$). E+ = Control, E- = Remoción de epífitas.

Durante el experimento de remoción de las epífitas también se registró la incidencia de luz, temperatura y humedad relativa a nivel de los cafetos; sin embargo, sólo a los seis meses se encontró que el nivel de radiación fue menor bajo los árboles control (E+) que bajo los árboles con destenche (E-), pero esta diferencia desapareció después de 18 meses.

Los resultados sugieren que el destenche tiene un efecto positivo en los cafetos, incrementando el número de flores y frutos en la segunda temporada de cosecha. Es posible que el efecto de la remoción sobre la productividad del café también disminuya con el tiempo, por lo cual sería muy útil contar con registros por un periodo de tiempo más largo.

10.3. Recolección de epífitas caídas de forma natural

Después del destenche, los árboles "limpios" son un hábitat potencial para recolonización por las plantas epífitas que circundan esos árboles (Toledo-Aceves *et al*., 2012). Como parte de otro estudio se evaluó la capacidad de recuperación de la comunidad de epífitas en árboles que fueron destenchados en 1999 y 2000 en el cafetal La Orduña por Cruz-Angón y Greenberg (2005). Después de ocho a nueve años de la remoción, se encontró que aproximadamente 35% de la biomasa de epífitas se había recuperado (Toledo-Aceves *et al*., 2012). En total se registraron 48 especies de epífitas en los árboles control no destenchados y 40 especies en los árboles donde se hizo la remoción de epífitas. Estos resultados indican que la capacidad de recuperación de la comunidad epífita en los cafetales de sombra es elevada, y considerablemente más alta que lo reportado para otros ecosistemas (Nadkarni, 2000). Sin embargo, no toda la comunidad epífita se recupera de igual manera; algunos grupos como las orquídeas y los helechos se ven más afectados, mientras que las bromelias en general se recuperaron más pronto. En el registro de 10 árboles se encontró que un árbol de sombra (dap = 54.9 ± 7 cm) del cafetal puede albergar en promedio 727 ± 227 rosetas de bromelias epífitas. En el mismo sitio, sólo se encontraron seis especies de helechos epífitos con 788 individuos por 1000 m^2 (Mehltreter, 2008).

Es importante considerar que la eliminación de epífitas en los cafetales resulta en la simplificación del agrosistema, lo cual tiene efectos adversos en diversos organismos como aves e insectos (Cruz-Angón y Greenberg, 2005; Cruz-Angón *et al*., 2009) y muy probablemente en otros procesos ecológicos como la atracción de polinizadores, atributos del agrosistema que pueden ser relevantes en la certificación de provisión de servicios ambientales. En los bosques naturales las epífitas juegan un papel importante en la captación de agua y de nutrientes atmosféricos arrastrados por la lluvia y el viento (Hofstede *et al*., 1993).

Tales recursos podrían perderse del sistema con mayor facilidad, al eliminar a las epífitas de los bosques o de los agrosistemas forestales. Aunque nuestros datos de registros microclimáticos durante el destenche indican sólo el incremento de radiación solar en un corto periodo, es de esperar que la presencia de epífitas también contribuya a regular la incidencia de los rayos directos del sol sobre los cafetos, lo que ayude a que la temperatura y humedad en este estrato sea más homogénea. Diferentes estudios han evaluado el efecto de la cobertura del dosel en el rendimiento de café, pero sus resultados son contradictorios (Perfecto *et al*., 2005). En algunos estudios el rendimiento aumentó significativamente al reducir la cobertura, otros no encontraron diferencias entre la sombra moderada y la ausencia de sombra, mientras que otros reportan niveles de sombra intermedios como óptimos para el rendimiento de café (Soto-Pinto *et al*., 2002; Perfecto *et al*., 2005).

10.4. Cultivo en viveros

Para realizar el manejo de las bromelias epífitas es importante conocer bajo qué condiciones medioambientales es posible mantenerlas y cultivarlas en viveros. Es por ello que, Ortíz (2012) evaluó la respuesta de cuatro especies de bromelias epífitas a dos niveles de luz en condiciones controladas de vivero; dos provenientes de bosque mesófilo de montaña: *Tillandsia kirchoffiana* y *T. multicaulis,* y dos de un cafetal de sombra: *T. belloensis* y *T. limbata*. Las plantas se ubicaron en un vivero con malla sombra bajo dos niveles de radiación (nivel medio de 40% de radiación fotosintéticamente activa = PAR, 21.43 mol/ m^{-2} $día^{-1}$ ±0.13 y nivel bajo de 5 % de PAR = 2.02 mol $m^{-2}día^{-1}$ ±0.26; promedio ± E.E.), tomando en cuenta que las bromelias son plantas que habitualmente crecen en condiciones de sombra o luminosidad intermedia (Figura 10.1).

En cada nivel de radiación se colocaron 40 plantas de cada especie; 10 plantas de cada una de las siguientes cuatro categorías de tamaño: infantes, juveniles, adultos no reproductivos y adultos reproductivos. Se registró al inicio y después de seis meses la altura, el número de rebrotes producidos, el número de inflorescencias y el área específica foliar de cada planta. Al final del experimento los infantes y juveniles tuvieron tasas de crecimiento menor que las adultas; sin embargo, el crecimiento fue similar entre especies y no difirió significativamente entre las dos condiciones de luz (tasa de crecimiento relativo

en altura: *T. belloensis* 2.77 cm mes^{-1} ±0.07, *T. kirchoffiana* 2.83 ±0.08, *T. limbata* 2.88 ±0.07, *T. multicaulis* 2.83 ±0.07; P> 0.05).

Figura 10.1. Evaluación del crecimiento de bromelias epífitas en el vivero de la finca Nebel, Coatepec, Veracruz.

Por otro lado, el área específica foliar fue mayor en la condición de baja radiación en todas las especies ($p<0.001$). Aunque las plantas estuvieron bajo las mismas condiciones de riego y suministro de nutrientes, la luz no tuvo un efecto significativo con excepción del área específica foliar. De tal forma que las especies tolerantes a la sombra provenientes del bosque aprovecharon de igual manera los recursos que las especies del cafetal, lo que se reflejó en un crecimiento similar. Por otro lado, también es posible que los niveles de luz utilizados no hayan sido lo suficientemente contrastantes y el tiempo del

experimento muy corto para que se presentara un efecto diferencial en el crecimiento de las plantas. Ya que la mayor proporción de plantas de las cuatro especies produjeron inflorescencia en luz media (40% PAR), se recomienda este nivel de radiación para su cultivo en condiciones controladas con fines comerciales.

10.5. Orquídeas

Las orquídeas son plantas fascinantes que han cautivado a los seres humanos; sus flores poseen una gran belleza y rareza de formas, colores y aromas, lo cual las ha colocado en una posición privilegiada en el mercado mundial de plantas de ornato (Ospina, 1996). Además, son sumamente llamativas para atraer polinizadores y producir semillas, aspecto de su biología que ha sido muy estudiado (Figura 10.2).

Figura 10.2. Diversidad floral de algunas orquídeas epífitas.

Las orquídeas son un grupo muy diverso; estimaciones recientes sugieren que deben existir entre 25,000 y 30,000 especies (Hágsater *et al*., 2005). Sin embargo, cada día se descubren nuevas especies debido a que en general, los países

tropicales no están suficientemente estudiados para asegurar el conocimiento completo de la diversidad florística de orquídeas. Esta gran diversidad es el resultado de la larga evolución de este linaje (Chase, 2001; Chase *et al*., 2003). En México se distribuyen cerca de 1,400 especies de orquídeas, lo que representa aproximadamente el 5% del total mundial (Hágsater *et al.,* 2005) y de éstas el 40% son endémicas, es decir, aproximadamente 444 especies restringen su distribución a determinadas sitios o regiones (Espejo-Serna *et al*., 2002). Esta característica convierte a la orquideoflora mexicana, en una de las más ricas en endemismos entre los principales países de América tropical. En el estado de Veracruz se han registrado aproximadamente 320 especies de orquídeas (Sosa y Gómez-Pompa, 1994) y según diversos autores, esta cifra puede llegar alrededor de 380 especies (ACOOS com. pers.).

Las orquídeas se distribuyen en casi todos los ambientes de la tierra, gracias a sus adaptaciones morfo-fisiológicas que les han permitido soportar distintas condiciones, por lo se han convertido en una de las familias botánicas con mayor representación en las comunidades tropicales (Espejo y López-Ferrari, 1998; 2005). Esta familia botánica, junto con Bromeliaceae, Araceae y diversas familias de helechos, constituyen un elemento fisonómica y ecológicamente importante dentro de estos ecosistemas (Figura 10.3). Por otro lado, debido a sus requerimientos especializados de hábitat, las orquídeas epífitas pueden utilizarse como indicadores de la integridad ecológica o del nivel de fragmentación de las comunidades vegetales en las que crecen (Williams-Linera *et al.,* 1995; Díaz-Toribio, 2009).

Se estima que el 60% de las orquídeas mexicanas se distribuyen en los bosques mesófilos (IUCN/SSC Orchid Specialist Group, 1996). Los cafetales que han sustituido en gran parte a estos bosques mantienen ciertas condiciones medioambientales creadas por la cobertura de los árboles utilizados como sombra de los cafetos, y esto permite que un elevado número de orquídeas esté presente (Espejo-Serna *et al*., 2005).

Figura 10.3. El bosque de niebla es el ecosistema en donde se distribuye el 60% de las orquídeas mexicanas.

10.6. Conservación *ex situ* de orquídeas

El mecanismo más efectivo y eficiente para la conservación de la biodiversidad es a través de la protección de los hábitats (conservación *in situ*). Sin embargo, debido a la gran alteración y reducción de todos los ecosistemas, para muchos grupos de plantas como las orquídeas, es necesario realizar acciones de conservación *ex situ*. La combinación de diferentes estrategias de conservación ha resultado ser una excelente opción como complemento a las estrategias globales de conservación para especies amenazadas o en peligro de extinción (Wyse y Sutherland, 2000). La conservación *ex situ* implica la recolección de muestras representativas de la variabilidad genética de una especie (*v. gr.*, individuos, fragmentos de individuos y semillas) y su mantenimiento fuera de las condiciones naturales en las que la especie ha evolucionado. La ventaja de utilizar este método es el control directo sobre el material, así como su fácil accesibilidad y disponibilidad (Iriondo, 2001). Una vez realizada la recolección del

material, la conservación *ex situ* de las especies consta de dos elementos esenciales: 1. El almacenamiento o preservación del germoplasma, y 2. El desarrollo de métodos que posibiliten su propagación. No obstante, también deben tenerse presentes otros elementos relevantes tales como la documentación y la caracterización del germoplasma almacenado (Hummer, 1999).

El almacenamiento de germoplasma puede realizarse de dos formas: a) almacenamiento de semillas y b) colecciones de plantas, las cuales constituyen el método tradicional de conservación *ex situ* de recursos fitogenéticos (ver: www.sinarefi.org.mx). Bajo esta denominación de conservación se pueden considerar a los jardines botánicos, las colecciones de plantas en campo y las colecciones particulares. El material conservado *ex situ* representa germoplasma de gran utilidad debido a que puede ser la base para la propagación masiva y subsecuente comercialización de un gran número de individuos. En el caso de orquídeas y muchos otros grupos más, como helechos, bromelias y cactus, esta estrategia puede reducir y desalentar la colecta de ejemplares en la naturaleza y a su vez, generar una fuente de ingresos a personas interesadas en el uso sustentable y legal de este recurso.

La conservación *ex situ* a través del cultivo tradicional no es un hecho nuevo en México; se tiene registro que *Stanhopea hernandezii* ya se cultivaba en el siglo XVI y había plantas de vainilla (orquídea terrestre) en el Jardín Botánico de Moctezuma en Oaxtepec (Menchaca y Moreno, 2011). Esta forma de cultivo tradicional de orquídeas ha perdurado hasta nuestros días. El éxito del cultivo tradicional en el contexto de la conservación *ex situ* es enorme; sin embargo, enfrenta algunos problemas, porque lo que se busca es mantener una especie fuera de su hábitat por periodos muy largos, y a diferencia de la conservación *in situ*, es casi imposible preservar la variación genética y la capacidad evolutiva de las especies (Hágsater *et al.*, 2005). Especies como *Laelia gouldiana* y *L. anceps* subsp. *dawsonii* han sido cultivadas por más de un siglo, sin técnicas hortícolas complejas y sin inversión de recursos de alguna fuente externa (Halbinger y Soto, 1997). Estas plantas son comercializadas en nuestro país, la mayoría de las veces por cultivadores campesinos, y esta venta representa un ingreso extra para ellos.

Con base en lo anterior y tratando de ofrecer alternativas de diversificación productiva a los productores del centro del estado de Veracruz, principalmente a los cafeticultores, dentro del proyecto "Consolidación de una red agroecológica intersectorial de innovación para lograr una cafeticultura sustentable en el centro del estado de Veracruz" ("*Café In Red*"), particularmente dentro del subproyecto "Sistemas agroforestales en café (AGROCAF)", se definieron dos estrategias referentes a la conservación, propagación y uso sustentable de las orquídeas. Uno fue la capacitación sobre el manejo tradicional integral de orquídeas, y el otro, sobre la propagación en masa de orquídeas a través del cultivo *in vitro*.

10.7. Talleres de cultivo tradicional de orquídeas

En general, la región centro de Veracruz ha sido y es un centro hortícola tradicional exitoso en el cultivo de múltiples especies de plantas ornamentales. Las orquídeas no son la excepción y prosperan en patios, jardines y viveros. La capacitación, organización y desarrollo de cultivos bajo un esquema de manejo legal, abre la oportunidad de convertirlo en un centro piloto de cultivo de orquídeas nativas e híbridos comerciales que inspire a otros sitios del estado y del país (E. Aguirre-León, com. pers.). Con el objetivo de ofrecer el conocimiento necesario para poder lograr cultivos exitosos dentro de las fincas de café, y que sea una alternativa más para la diversificación de los productos provenientes de las fincas, se realizaron talleres de cultivo tradicional de orquídeas.

A lo largo de dos años (2011-2012) se realizaron ocho talleres, para capacitar a productores de café. Los talleres se diseñaron para impartirse en dos módulos. Uno teórico, en donde se explicaron las generalidades de las orquídeas, conservación, cultivo *in vitro* y se habló sobre el establecimiento de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA). El segundo módulo fue práctico, donde cada participante aprendió a dividir y sembrar correctamente una orquídea, sus cuidados generales y aspectos de prevención y control de plagas y enfermedades. En los talleres se dieron a conocer todos los requerimientos de cultivo necesarios para el establecimiento exitoso de las plantas. Además, se les proporcionó información sobre cómo organizar y mantener cultivos grandes de orquídeas dentro de sus cultivos de café (Figura 10.4).

Figura 10.4. Taller de capacitación de cultivo de orquídeas para productores de café.

Los talleres de capacitación se ofrecieron en seis regiones del observatorio cafetalero de la franja de oro Veracruz y atendieron a 162 productores de café (Cuadro 10.2).

CUADRO 10.2. NÚMERO DE PERSONAS QUE ASISTIERON A LOS TALLERES DE CAPACITACIÓN POR REGIÓN CAFETALERA ENTRE 2011 Y 2012.

REGIÓN	NÚMERO DE ASISTENTES
Atzalan	20
Coatepec	54
Córdoba	22
Cosautlán	11
Fortín de las Flores	28
Huatusco	27
Total	**162**

Los productores conocieron el potencial en sus fincas para desarrollar este tipo de cultivo, dando como resultado que algunos productores mostraron interés en establecer unidades de manejo y aprovechamiento de vida silvestre (UMAs) en sus fincas. Además, se elaboró un manual de cultivo de orquídeas, bromelias

y helechos en cafetales de sombra (Díaz-Toribio *et al*., 2013) mismo que será distribuido a todos los asistentes.

10.8. Cultivo *in vitro* de orquídeas

Dentro de las estrategias de conservación *ex situ* y uso sustentable, es necesario desarrollar métodos que posibiliten su propagación; en la mayoría de las plantas la forma más sencilla de hacerlo es mediante la colecta y germinación de semillas. Desafortunadamente en las orquídeas no es tan fácil, ya que la mayoría de los miembros de esta familia tiene asociación con una o varias especies de hongos micorrízicos, principalmente del género *Rhizoctonia* (Shan *et al.,* 2002).

Estos hongos juegan un papel importante en la administración de nutrientes a las semillas para la germinación (Arditti, 1992), lo que hace muy difícil propagar a la mayoría de orquídeas a través de esta técnica. Por otro lado, la práctica más común para multiplicar el material vegetal es la propagación vegetativa, la cual se realiza mediante divisiones de plantas madres, que, dependiendo el tamaño, en el mejor de los casos se obtienen de tres a cinco plantas, lo cual lo convierte en una tarea laboriosa y sin posibilidad de producir grandes cantidades a corto plazo.

Una alternativa con un gran potencial para la producción en masa de orquídeas es el cultivo de tejidos vegetales, ya que permite germinar una gran cantidad de semillas, acelera el crecimiento de las etapas juveniles y tiene la capacidad de micropropagar (clonar) individuos con características deseables para el comercio, lo que la hace en una herramienta útil para la conservación y uso sustentable de estas plantas (Mata-Rosas *et al*., 2010). Lo anterior podría ayudar a minimizar la extracción masiva de plantas silvestres para satisfacer la demanda comercial existente al comercializarse únicamente aquellos individuos propagados por cultivo de tejidos, y permitirá promover el cultivo y el uso sustentable de este grupo, propiciando y facilitando el establecimiento de viveros, unidades de manejo de vida silvestre (UMAs) o predios o instalaciones que manejan vida silvestre (PIMVS).

Para llevar a cabo esta técnica se requiere de capacitación y el empleo de equipo de laboratorio, el cual es costoso. Así que, para el caso de productores que deseen establecer una UMA o PIMVS, la mejor opción no es diseñar, establecer y manejar un laboratorio de micropropagación, sino acercarse a Universidades (*v. gr.*, UNAM, UAM, UV), a centros de investigación como el Instituto de Ecología, A. C. (INECOL) o a particulares que cuenten con un laboratorio, para conseguir mediante algún convenio el material biológico, homogéneo, limpio, y de procedencia legal para iniciar el cultivo comercial de orquídeas. Existen estudios sobre cultivo *in vitro* para una gran variedad de especies de orquídeas e híbridos (Arditti, 2008), pero son muy pocos los trabajos realizados con especies mexicanas e híbridos exitosamente desarrollados en nuestro país. Se ha demostrado que, para el cultivo de tejidos vegetales, los resultados y los procedimientos generales pueden ser la base para nuevos estudios, pero para cada especie, variedad y genotipo las condiciones óptimas de cultivo tienen que ser determinadas experimentalmente (Fay, 1994).

Por ello el laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales del INECOL ha estado trabajando en el estudio, propagación y conservación de orquídeas, principalmente de aquellas especies endémicas, en peligro de extinción y con alto potencial ornamental, para ofrecer mediante el proyecto "*Café In Red*" alternativas de diversificación productiva a los cafeticultores de la ZCEV.

Para establecer los protocolos de germinación, micropropagación y desarrollo acelerado de diversas especies e híbridos de orquídeas, se han realizado experimentos manipulando y probado diversas variables como: medios de cultivos, adición de compuestos orgánicos (hidrolizado de caseína, homogenizado de papa, endospermo líquido de coco, homogenizado de plátano), adición de carbón activado, reguladores del crecimiento, condiciones de incubación (temperatura, humedad, luz), sustratos para el cultivo *ex vitro* de plantas cultivadas *in vitro.* Hasta la fecha se han logrado cultivar con éxito 22 especies de orquídeas (Cuadro 10.3) y se cuenta con el protocolo de crecimiento acelerado de cinco especies (Cuadro 10.4).

El protocolo de propagación *in vitro* para cada especie fue determinado experimentalmente. Las plantas fueron la base para los talleres de capacitación sobre el cultivo de orquídeas y pueden ser donadas a los productores de café que establezcan unidades de manejo de vida silvestre.

CUADRO 10.3. ALGUNAS ESPECIES E HÍBRIDOS DE ORQUÍDEAS PROVENIENTES DE CULTIVO *IN VITRO* Y ESTABLECIDAS CON ÉXITO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO DURANTE EL PROYECTO "*Café In Red*".

NO.	ESPECIE
1	*Cattleya dowiana* Bateman
2	*Cattleya híbrido*
3	*Chysis laevis* Lindl.
4	*Coryanthes picturata* Rchb. f.
5	*Cuitlauzina pulchella* (Bateman ex Lindl.) Dressler & N. H. Williams
6	*Epidendrum ciliare* L.
7	*Gongora truncata* Lindl.
8	*Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressler & W.E. Higgins
9	*Laelia anceps* Lindl. forma alba *x Laelia autumnalis* (La Llave & Lex.) Lindl.
10	*Laelia anceps* Lindl. forma semialba Rchb. f.
11	*Laelia anceps* Lindl. subsp. *anceps*
12	*Laelia anceps* subsp. *dawsonii* J. Anderson
13	*Lycaste cruenta* (Lindl.) Lindl.
14	*Lycaste deppei* (Lodd.) Lindl.
15	*Myrmecophila tibicinis* (Bateman) Rolfe
16	*Oncidium maculatum* (Lindl.) Lindl.
17	*Oncidium sphacelatum* Lindl.
18	*Rhyncholaelia digbyana* (Lindl.) Schltr.
19	*Rhyncholaelia glauca* (Lindl.) Schltr.
20	*Stanhopea hernandezii* (Kunth) Schltr.
21	*Stanhopea wardii* G. Lodd. ex Lindl.
22	*Trichocentrum cebolleta (*Jacq.) M. W. Chase & N. H. Williams

CUADRO 10.4. PROTOCOLOS DE CULTIVO IN VITRO PARA INCREMENTAR LA VELOCIDAD DE CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE DIFERENTES ESPECIES DE ORQUÍDEAS.

ESPECIE DE ORQUÍDEA	MEDIO DE CULTIVO EMPLEADO
Guarianthe skinneri	MS o KC + carbón activado 0.5 g L^{-1}
Laelia anceps subsp. *dawsonii*	KC + endospermo líquido de coco 100 mL L^{-1}
Oncidium sphacelatum	MS + homogeneizado de plátano 100 g L^{-1}
Dendrobium phalaenopsis Fitzg.	KC + de carbón activado 0.5 g L^{-1}
Myrmecophilia tibicinis	MS + homogeneizado de papa 50 g L^{-1}

MS= medio de Murashige y Skoog (1962); KC= medio de cultivo Knudson C modificado (1946).

A continuación, se presenta de manera condensada un protocolo de crecimiento acelerado *in vitro* de *Oncidium sphacelatum,* una orquídea con alto potencial ornamental que se distribuye en el estado de Veracruz.

10.9. Protocolo de crecimiento acelerado *in vitro* de *Oncidium sphacelatum*

1. Cápsulas de *O. sphacelatum* (Figura 10.5a) maduras y cerradas se colectan de la planta donadora y se lavan con agua jabonosa. Bajo condiciones asépticas se colocan sobre cajas de Petri esterilizadas y se bañan con alcohol etílico 96° y se les prende fuego en dos ocasiones, con lo cual se esteriliza la superficie del fruto. Con la ayuda de instrumental de disección, se realiza un corte a lo largo del fruto para exponer las semillas.
2. Las semillas se extraen con una espátula y se siembran en frascos de vidrio conteniendo 25 mL de medio de Murashige y Skoog (medio de cultivo MS) (Murashige y Skoog, 1962) al 50% de su formulación (MS50) con un pH de 5.2.
3. Los frascos se incuban en un cuarto de cultivo a 25±1°C, un fotoperiodo de 16 h y una intensidad luminosa de 34 µMol m^{-2} s^{-1}.
4. Cuando las semillas germinan y alcanzan la fase de plántula, con un diámetro mayor a los 5 mm, son usadas como fuente de explante para los ensayos de crecimiento acelerado (Figura 10.5b).
5. Plántulas enteras de *O. sphacelatum* se siembran en frascos conteniendo 25 mL de medio de cultivo MS adicionado con 100 g L^{-1} de homogeneizado de plátano y se incuban en un cuarto de cultivo a 25±1°C, con un fotoperiodo de 16 h y una intensidad luminosa de 50 µMol m^{-2} s^{-1}.
6. Las plántulas se subcultivan cada dos meses a frascos con medios de cultivo frescos (Figura 10.5c).
7. Cuando las plantas alcancen 5 cm de longitud y hayan desarrollado raíces vigorosas, estarán listas para ser extraídas del medio de cultivo y ser cultivadas bajo condiciones de invernadero (Figura 10.5d).

A pesar de que existen diversos estudios de propagación *in vitro* como el arriba descrito, es necesario continuar realizando estudios que permitan tener un mayor número de protocolos eficientes de propagación de orquídeas con alto potencial ornamental, principalmente de aquellas que crecen en los cafetales.

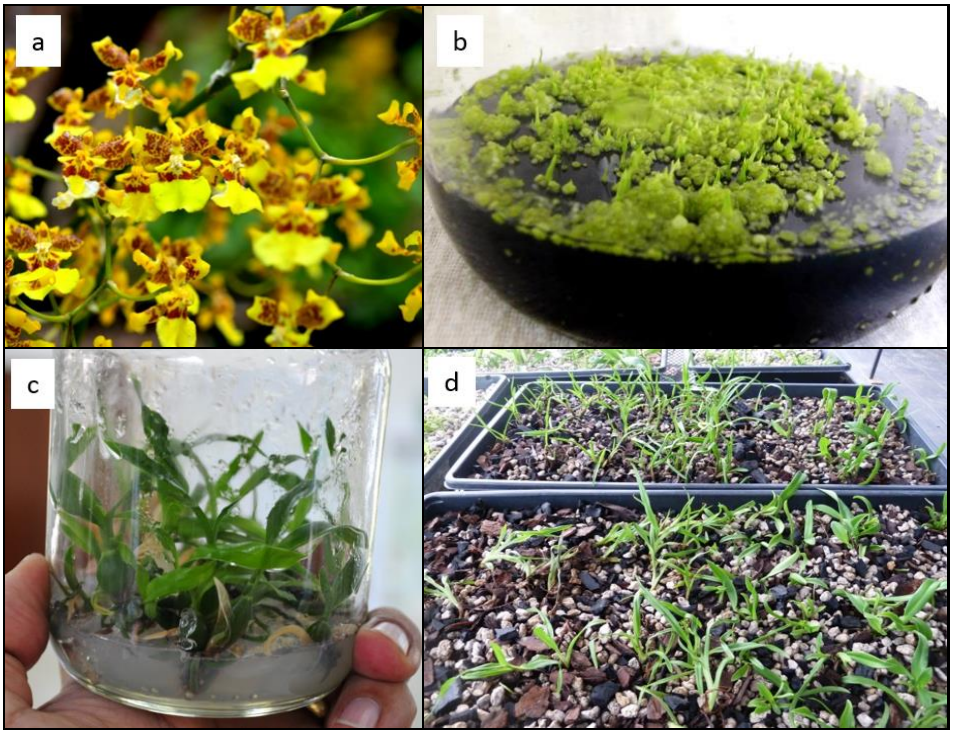


Figura 10.5. Protocolo para desarrollo acelerado de plántulas de *Oncidium sphacelatum* cultivadas *in vitro.* a) Detalle de la inflorescencia, b) Semillas germinadas *in vitro,* c) Plantas desarrolladas *in vitro* después de seis meses, d) Plantas de orquídeas establecidas *ex vitro* en invernadero.

Lo anterior es debido a que solamente mediante las técnicas de cultivo de tejidos vegetales, es posible generar una gran cantidad de plantas, homogéneas, libres de patógenos y en tiempos relativamente cortos, pudiendo formar en un año, miles o en algunos casos hasta millones de plantas; todo depende del protocolo de propagación desarrollado y de las instalaciones para su mantenimiento. Por lo anterior es de gran importancia fomentar e incrementar la vinculación entre los productores y centros de investigación como el INECOL, para poder llevar a cabo proyectos productivos y viables, para la propagación de este tipo de especies, donde los centros pueden ser los encargados de desarrollar los protocolos y generar la cantidad de plantas necesarias que los productores necesitan, y que éstos concentren sus esfuerzos en cultivar las orquídeas en viveros y lograr desarrollar plantas con una talla que

permita su comercialización, promoviendo con esta actividad la diversificación productiva de sus fincas cafetaleras y un incremento en su economía.

10.10. Conclusiones

Las epífitas son un grupo muy diverso, conspicuo y con una importante función ecológica en los bosques y cafetales de sombra. Muchas especies no son abundantes en sus hábitats naturales, pero son apreciadas como plantas ornamentales por las características del follaje y la belleza de sus flores. Su extracción desmedida y la transformación de los bosques a otros usos de suelo, han propiciado una importante reducción en sus poblaciones, ocasionando que algunas especies se encuentren en peligro de extinción. Se ha demostrado que los cafetales de sombra son un refugio para muchas especies epífitas, por lo que el manejo y cultivo de algunas de estas especies puede contribuir a diversificar este sistema de cultivo y multiplicar el valor de la parcela y los ingresos de los productores. Se tiene evidencia que la remoción de epífitas de los árboles incrementa la producción de flores y frutos en los cafetos, y que las plantas obtenidas por destenche y de aquellas que caen naturalmente al suelo, pueden ser potencialmente aprovechadas para la obtención de ingresos. Sin embargo, también es recomendable considerar su cultivo y propagación para obtener plantas en mejores condiciones de comercialización. Las bromelias, helechos y orquídeas epífitas pueden mantenerse en viveros, ya que el crecimiento de éstas responde positivamente al manejo de luz y nutrientes. Algunas especies de orquídeas pueden ser propagadas utilizando métodos tradicionales de separación vegetativa y cultivo de individuos, ya que es una forma económica de obtener algunas plantas. Sin embargo, también es posible considerar el cultivo *in vitro* de algunas especies, donde, mediante el uso de medios de cultivo y procesos asépticos específicos se puede lograr la propagación masiva de plantas. Como este último proceso involucra técnicas, equipo e instalaciones especializadas, se recomienda establecer colaboraciones con instituciones y universidades donde cuentan con el equipo y personal necesario para estos propósitos. La mejor alternativa para la propagación y comercialización de plantas epífitas es a través del establecimiento de UMAs o PIMVS cuando se trata de especies protegidas por el gobierno mexicano, y con avisos de aprovechamiento cuando se trata de especies no protegidas. Las alternativas propuestas para el manejo de epífitas de los cafetales de sombra, no sólo

promueven el uso diversificado de las fincas, sino que además proponen una fuente alternativa de ingresos para los productores y la conservación de las epífitas en sus hábitats naturales y en los agrosistemas diversificados.

Literatura citada

Arditti, J. 1992. Fundamentals of orchid biology. John Wiley and Sons, Inc. New York, NY, USA. 691 p.

Arditti, J. 2008. Micropropagation of orchids (volume 1). Wiley-Blackwell. New York, NY, USA. 1560 p.

Benzing, D. H. 1990. Vascular epiphytes. General biology and related biota. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 354 p.

Chase, M. W. 2001. The origin and biogeography of Orchidaceae. p. 1-5. *In:* Pridgeon, A. M., P. J. Cribb, M. W. Chase (eds.). Genera Orchidacearum. Volume. 2. Orchidoideae (Part 1). Oxford University Press. Oxford, UK.

Chase, M. W., K. M. Cameron, R. L. Barrett and J. V. Freudenstein. 2003. DNA data and Orchidaceae systematics: A new phylogenetic classification. p. 69-89. *In:* Dixon, K. W., S. P. Kell, R. L. Barrett and P. J. Cribb (eds.). Orchid conservation. Kota Kinabalu: Natural History Publications (Borneo). Kota Kinabalu, Bormeo, AU.

Cruz-Angón, A., M. L. Baena and R. Greenberg. 2009. The contribution of epiphytes to the abundance and species richness of canopy insects in a Mexican coffee plantation. Journal of Tropical Ecology 25(5):453-463.

Cruz-Angón, A. and R. Greenberg. 2005. Are epiphytes important for birds in coffee plantations? An experimental assessment. Journal of Applied Ecology 42(1):150-159.

Díaz-Toribio, M. 2009. Orquídeas terrestres como indicadoras de calidad ambiental en fragmentos de bosque mesófilo de montaña. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología. Xalapa, Ver., México. 43 p.

Díaz-Toribio, M., T. Toledo, M. Mata, K. Mehltreter, A. Hernández-Rojas, J. Mejía *et al*. 2013. Manual de cultivo de orquídeas, bromelias y helechos en cafetales de sombra. Instituto de Ecología, A. C. Café In Red. Xalapa, Ver., México. 120 p.

Durán-Ramírez, C. A. 2010. La comunidad de protozoarios acuáticos y algas microscópicas asociados a *Tillandsia heterophylla* E. Morren (Bromeliaceae) en tres ambientes contrastantes del centro de Veracruz, México. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Ver. 162 p.

Espejo, A. y A. R. López-Ferrari. 1998. Las Monocotiledóneas mexicanas: una sinopsis florística 1. Lista de Referencia Parte VII. Orchidaceae I. Consejo Nacional de la Flora de México, A. C. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 115 p.

Espejo-Serna, A., A. R. López-Ferrari, R. Jiménez-Machorro y L. Sánchez-Saldana. 2005. Las orquídeas de los cafetales de México: una opción para el uso sustentable de ecosistemas tropicales. Revista de Biología Tropical 53(1-2):73-84.

Espejo-Serna, A., J. García-Cruz, A. R. López-Ferrari, R. Jiménez-Machorro y L. Sánchez-Saldaña. 2002. Orquídeas del estado de Morelos. Orquídea (México) 16:1-332.

Fay, M. F. 1994. In what situations is *in vitro* culture appropriate to plant conservation? Biodiversity Conservation 3(2):176–183.

Flores-Palacios, A. and S. Valencia-Díaz. 2007. Local illegal trade reveals unknown diversity and involves a high species richness of wild vascular epiphytes. Biological Conservation 136(3):372-387.

Gentry, A. H. and C. H. Dodson. 1987. Contribution of non-trees to species richness of a tropical rain forest. Biotropica 19(2):149-156.

Haeckel, I. B. 2008. The “Arco Floral”: Ethnobotany of *Tillandsia* and *Dasylirion* spp. in a Mexican religious adornment. Economic Botany 62(1):90-95.

Hágsater, E., M. A. Soto-Arenas, G. A. Salazar-Chávez, R. Jiménez-Machorro, M. A. López-Rosas y R. L. Dressler. 2005. Las orquídeas de México. Instituto Chinoín. México, D. F. 304 p.

Halbinger, L. y M. A. Soto A. 1997. Laelias of México. Herbario AMO. México, D. F. 160 p.

Hernández-Sánchez, A. A. y J. G. García-Franco. 2006. Invertebrados asociados a la epífita *Tillandsia heterophylla* (Bromeliaceae) en ambientes estacionales y contrastantes del centro de Veracruz. Entomología Mexicana 5:1026-1031.

Hietz, P. 2005. Conservation of vascular epiphyte diversity in Mexican coffee plantations. Conservation Biology 19(2):391-399.

Hofstede, G. R., J. H. Wolf and D. H. Benzing. 1993. Epiphytic biomass and nutrient status of a Colombian upper montane rain forest. Selbyana 14:37-45.

Hummer, K. E. 1999. Biotechnology in plant germplasm acquisition. p 25-39. *In:* Benson, E. (ed.). Plant Conservation Biotechnology. Taylor and Francis. London, England, UK.

Iriondo, A. J. M. 2001. Conservación de germoplasma de especies raras y amenazadas. Investigación agraria. Producción y Protección Vegetal 16(1):5-22.

IUCN/SSC Orchid Specialist Group. 1996. Orchids - status survey and conservation action plan. IUCN. Gland Switzerland and Cambridge, Cambridge, UK.153 p.

Knudson, L. 1946. A new nutrient solution for the germination of Orchids seeds. American Orchid Society Bulletin 15:214-217.

Mata-Rosas, M., R. J. Baltazar-García, P. Moon, P. Hietz and V. E. Luna-Monterrojo. 2010. *In vitro* regeneration of *Lycaste aromatica* (Graham ex Hook) Lindl. (Orchidaceae) from pseudobulb sections. Plant Biotechnology Reports 4(2):157-163.

Mehltreter, K. 2008. Helechos. p. 83-93. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología, A. C. Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F.

Menchaca-García, R. A. y D. Moreno-Martínez. 2011. Conservación de orquídeas una tarea de todos. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 43 p.

Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. Physiologia Plantarum 15(3):473-497.

Nadkarni, N. M. 2000. Colonization of stripped branch surfaces by epiphytes in a lower montane cloud forest, Monteverde, Costa Rica. Biotropica 32(2):358-363.

Ortiz, C. P. N. 2012. Efecto de dos regímenes lumínicos sobre el crecimiento de cuatro bromelias epífitas en condiciones controladas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 35 p.

Ospina, H. M. 1996. Orchidology and biotechnology. Orchids 65(10):1072-1074.

Perfecto, I., J. Vandermeer, A. Mas and L. Soto P. 2005. Biodiversity, yield and shade coffee certification. Ecological Economics 54(4):435-446.

Rzedowski, J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. Acta Botánica Mexicana 35:25-44.

Shan, X. L., E. C. Y. Liew, M. A. Weatherhead and I. J. Hodgkiss. 2002. Characterization and taxonomic placement of *Rhizoctonia*-like endophytes from orchid roots. Mycologia 94(2):230-239.

Solís-Montero, L., A. Flores-Palacios and A. Cruz-Angón. 2005. Shade-coffee plantations as refuges for tropical wild orchids in Central Veracruz, México. Conservation Biology 19(3):908-916.

Sosa, V. y A. Gómez-Pompa. 1994. Flora de Veracruz. Lista florística. No 82. Instituto de Ecología A. C. Xalapa, Ver. 245 p.

Soto-Pinto, L., I. Perfecto and J. Caballero-Nieto. 2002. Shade over coffee: Its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, México. Agroforestry Systems 55(1):37-45.

Toledo-Aceves, T., J. G. García-Franco, A. Hernández-Rojas and K. MacMillan. 2012. Recolonization of vascular epiphytes in a shaded coffee agroecosystem. Applied Vegetation Science 15(1):99-107.

Williams-Linera, G., V. Sosa and T. Platas. 1995. The fate of epiphytic orchids after fragmentation of a Mexican cloud forest. Selbyana 16(1):36-40.

Wyse, J. P. S. y L. A. Sutherland. 2000. Agenda internacional para la conservación en jardines botánicos. Organización Internacional para la Conservación en Jardines Botánicos (BGCI). England, UK. 94 p.

APARTADO III

Servicios ambientales

Cafetales en la microcuenca de Las Truchas, mpio. de Altotonga, Ver.

XI. Los suelos cafetaleros del Centro del Estado de Veracruz: propiedades físicas, químicas y biológicas

Daniel Geissert[1], Isabelle Barois[1], Leticia Monge[2], Riguel Carrera[2], Noelia Martínez[3], Jatziri López[3], Kerstin Maas[4], Martín de Los Santos[2]

[1] Investigador del Instituto de Ecología A.C. Red de Ecología Funcional.
daniel.geissert@inecol.edu.mx
[2] Técnico del Instituto de Ecología A.C. Red de Ecología Funcional.
[3] Estudiante de Geografía de la Universidad Veracruzana.
[4] Estudiante de la Universidad Justus Liebig de Giessen, Alemania.

11.1. Introducción

El suelo es un recurso natural vivo, compuesto de una mezcla variable de minerales meteorizados de distintos tamaños (arcilla, limo y arena), materia orgánica en descomposición y numerosos organismos vivos, que cubre la tierra en una capa delgada y que proporciona cuando tiene cantidades adecuadas de agua y aire, soporte mecánico y sustento nutritivo para las plantas. Los cinco factores responsables de la formación del suelo son: a) material original, llamado material parental, b) topografía, c) vegetación y biota, d) clima, y e) tiempo. La combinación de estos factores determina el tipo de suelos y sus propiedades. El suelo está continuamente sujeto a cambios físicos, químicos y biológicos, debido a procesos de ganancia, traslocación, transformación y pérdida de sustancias, que en su conjunto se denominan edafización, intemperismo o meteorización (Brady y Weil, 2004). Entre los procesos de transformación está la descomposición de la materia orgánica, de la cual una parte se mineraliza y la otra se transforma en humus (Lavelle y Spain, 2001). Los microorganismos (bacterias y hongos) transforman tanto el material orgánico como mineral en formas asimilables por las plantas, pero la fauna es quién propicia y acelera esas transformaciones. Sin embargo, ciertos organismos del suelo necesitan interactuar para poder llevar a cabo estos procesos; así se tiene a las bacterias fijadoras de nitrógeno que forman nódulos en las raíces, a los hongos formadores de micorrizas, y otras bacterias y protozoarios que se asocian con la fauna para poder degradar la materia orgánica. La biota del suelo es sumamente diversa y se clasifica por su tamaño (Swift *et al*., 1979): microfauna (<0.1 mm), mesofauna (entre 0.1 mm y 2 mm) y macrofauna (>2 mm). Se ha visto

que la presencia o ausencia de ciertos organismos son indicadores de calidad del suelo (Paolletti, 1999; Ferris y Bongers, 2006).

El suelo es un recurso considerado como no renovable, ya que su velocidad de formación o de regeneración es extraordinariamente lenta y depende de los factores formadores. Por ello es muy variable, ya que 1 cm de suelo puede tomar entre 10 años y 1,000 años para formarse. El suelo cumple diversas funciones relevantes para los ecosistemas y para la sociedad: a) la provisión de nutrientes esenciales para la vida biológica, b) el almacenamiento, filtración y suministro de agua, c) la provisión de oxígeno para la respiración de las raíces, d) ser un sustrato de soporte mecánico para el anclaje de las plantas, y e) el secuestro de carbono, entre otros (Doran *et al*., 1994). Cuando el suelo es capaz de cumplir sus funciones y brindar estos servicios, se le considera saludable y de calidad, capaz de garantizar una productividad sustentable, de proteger el medio ambiente y de proporcionar servicios ambientales (Daily *et al*., 1997; Barrios, 2007). Al contrario, cuando el suelo es deficiente en nutrientes, carece de materia orgánica y de vida biológica, sufre de limitantes físicas y está invadido por plagas; se le considera enfermo e incapaz de ofrecer servicios ambientales.

Conocimiento tradicional y científico de los suelos cafetaleros

El conocimiento agrícola tradicional y local que tienen los productores de café de los suelos, es a la vez la base y el producto de las decisiones que toman a diario para el manejo de la finca. Ellos aprenden acerca del manejo de los suelos por sí mismos, por el conocimiento que el tiempo les da, y por las acciones que toman en el camino, basadas en las ideas que recibieron y que han sido probadas en la parcela. Varios son los ejemplos donde los campesinos utilizan una clasificación propia de la calidad de sus suelos, los conservan con obras de estabilización o los manejan con aplicaciones de abonos y de fertilizantes (Quansah *et al*., 2001; Barrera-Bassols *et al*., 2006). Sin embargo, este conocimiento sigue siendo empírico, a veces basado en creencias no respaldadas por el conocimiento científico y a menudo sesgado. Sus conceptos están generalmente relacionados con preocupaciones de producción y de control de plagas y enfermedades. Por ejemplo, el único horizonte del suelo de su interés es el superficial, ya que es el que consideran como fértil y benéfico para el cultivo (Ericksen y Ardón, 2003). A menudo, la fertilización química es la única opción conocida para proveer de nutrientes a la planta, mientras que el

uso de los sistemas de cultivos intercalados fijadores de nitrógeno, muy pocas veces forma parte de su experiencia.

Los científicos por otro lado, han descubierto que el café prospera en una diversidad de suelos, tanto aluviales, como coluviales y volcánicos, siempre y cuando su textura sea favorable (Descroix y Snoek, 2004). Sin embargo, para el cafeto es de gran importancia el espesor de suelo encima de una capa dura, de un nivel freático o de una roca. Para asegurar un buen desarrollo de las raíces de pivote y un suministro suficiente de agua durante la época seca, el suelo debería tener una profundidad de por lo menos 2 m. Las raíces del cafeto pueden explorar el suelo hasta una profundidad de 3 m, pero la mayor parte del sistema radical se desarrolla en los primeros 30 cm. Por lo tanto, se debería evitar sembrar café en suelos con tepetate, o con roca de lava o de caliza a poca profundidad, ya que representan una barrera impenetrable para las raíces. Asimismo, en suelos donde siempre hay un manto freático elevado, nunca hay que sembrar cafetos. Este manto freático siempre debe estar a más de 1.5 m de profundidad, para que no afecte las raíces de la planta. Para los freáticos intermitentes, el tiempo de su presencia es un factor decisivo para el desarrollo de los cafetos. Por otro lado, las plantaciones deben evitar suelos inundables, ya que las raíces del cafeto son fácilmente asfixiadas por el agua.

Considerando el desarrollo radical superficial del cafeto, las propiedades físicas de la capa superior del suelo son más importantes que las del subsuelo. La porosidad es un indicador de la capacidad de drenaje, de la permeabilidad y de la facilidad de implantación de las raíces. Los suelos favorables para el cultivo del café tienen una porosidad total de 50 a 60%. En cuanto a textura, la regla general indica que los suelos apropiados no deberían contener más de 20 a 30% de arena gruesa o más de 70% de arcilla a una profundidad entre 30 y 50 cm (Descroix y Snoek, 2004). Los suelos más adecuados para el café son de origen volcánico (derivados de lava o de cenizas) o desarrollados sobre rocas básicas y depósitos aluviales, que por lo general tienen una capacidad de intercambio catiónico elevada y contenidos importantes de materia orgánica. Cuando el nivel de materia orgánica es alto, el suelo es más fértil y menos propenso a ser erosionado, además de ofrecer una mejor capacidad de retención de agua y de nutrientes. El diagnóstico previo de algunos suelos cafetaleros del centro del estado de Veracruz, desarrollados sobre materiales volcánicos intemperizados, reveló que el espesor es en general superior a 1.5 m, que la textura es franca a

franca-limosa y que la estructura del horizonte superficial es esponjosa, con agregados granulares y bloques subangulares livianos y porosos, condiciones favorables para el buen desarrollo de las raíces de las plantas y la circulación del agua. Asimismo, son suelos ácidos y pobres en bases intercambiables (K, Ca, Mg), a pesar de contar con una capa superficial rica en materia orgánica. Fueron clasificados como Andosol úmbrico a 1,400 m de altitud y como Acrisol ándico a una altitud más baja de 1,000 m (Geissert e Ibañez, 2008). Resumiendo, el suelo ideal para el cultivo del café es profundo, permeable, ligeramente ácido, poroso, bien estructurado y con una textura favorable. Asimismo, debe tener una alta capacidad de retención de agua y al mismo tiempo un buen drenaje interno.

El suelo: reservorio de nutrientes

El suelo es un reservorio de nutrientes que sólo puede proveer a la planta lo que contiene. Aquellos que fueron utilizados por el cafeto para su crecimiento y producción deben ser reemplazados, de lo contrario la planta sufrirá deficiencias. El objetivo de la fertilización es proveer y mantener cantidades óptimas de nutrientes en el suelo, de manera que su utilización por el cafeto no lo empobrezca y lo convierta en un sustrato inadecuado para el cultivo. Los dos aspectos a tomar en consideración cuando se piensa en fertilización son: compensar las deficiencias del momento y reemplazar los nutrientes utilizados por la planta o perdidos por lavado. Asimismo, la fertilización debe cuidar y fortalecer la actividad microbiana del suelo, la cual es factor de calidad.

El aprovechamiento de los nutrientes del suelo o su pérdida por lavado profundo (lixiviación) son causa de la acidez y de la elevación hasta niveles tóxicos de ciertos elementos químicos. Cuando estos dos problemas se presentan, la acidez debe ser corregida y los elementos tóxicos neutralizados. Asimismo, se pueden producir desequilibrios nutricionales en el suelo que también deben ser corregidos, a fin de evitar que el exceso de algunos nutrientes impida la absorción de otros por parte del cafeto. La materia orgánica juega un papel importante en la producción debido a su efecto positivo sobre las propiedades fisiológicas, químicas, físicas y biológicas del suelo. Aumenta la porosidad, favorece la infiltración y la retención del agua, reduce el riesgo de erosión y activa la vida microbiana (Coleman *et al*., 1989). La materia orgánica también mejora considerablemente la capacidad de intercambio catiónico, suministra nutrientes y amortigua el efecto acidificante de los fertilizantes

nitrogenados. Esto es importante, ya que una fuerte acidez del suelo reduce la actividad microbiana y causa toxicidad debido al exceso de aluminio y de manganeso. Finalmente, la materia orgánica favorece la actividad de varios microorganismos, tales como los hongos formadores de micorrizas, y otros organismos que tienen efectos antagónicos sobre las enfermedades de la raíz del cafeto (Thoden *et al*., 2011), por lo que es fundamental que en el cafetal se conserve el humus nativo del suelo.

Dentro de este contexto, el objetivo de este capítulo es presentar las principales características de los suelos cafetaleros del centro del estado de Veracruz y evaluar su estado de fertilidad y nivel de calidad, a partir de la medición de parámetros físicos, químicos y biológicos (macrofauna) y de la evaluación campesina *in situ*, con la finalidad de formular algunas recomendaciones generales para un manejo sustentable.

11.2. Metodología

Área de estudio

El estudio se realizó en una selección de 59 fincas del Observatorio Cafetalero de la Zona Centro del Estado de Veracruz (OC-ZCEV), del conjunto intersectorial *Café In Red* apoyado por el proyecto CONACyT-FORDECyT 139378 y dependientes de los Consejos Regionales del Café de Atzalan (tres fincas), Misantla (13 fincas), Coatepec (12 fincas), Huatusco (19 fincas), Córdoba (10 fincas) y Zongolica (dos fincas). Debido a la distribución desigual de las fincas, se hizo una reagrupación en las siguientes regiones: Norte (Atzalan y Misantla), Centro-norte (Coatepec), Centro-sur (Huatusco) y Sur (Córdoba y Zongolica). Dichas fincas están distribuidas en siete tipos principales de suelos característicos de la ZCEV, mismos que por orden de importancia son: Acrisol (45% de las fincas), Andosol (21%), Luvisol (10%), Litosol (10%), Feozem (7%), Vertisol (5%) y Rendzina (2%), acorde con la carta edafológica 1:250,000 de INEGI. Por su estructura, el sistema de cafetal más frecuente es el policultivo diverso (41% de las fincas), seguido por el sistema rústico (34%), el policultivo simple (13%) y el monocultivo (12%). Los policultivos son dominantes en las regiones Norte, Centro-norte y Centro-sur, mientras que en la región Sur son los rústicos. La región Centro-sur es la que cuenta con el mayor número de fincas de monocultivo (cuatro) de todo

el OC-ZCEV. Las fincas ocupan terrenos con amplia variedad de inclinación, desde pendientes muy suaves (<10%) a moderadas (10 a 30%), hasta pendientes fuertes (30 a 50%) y muy fuertes (50 a 80%).

Muestreo de campo y análisis de laboratorio

En cada finca se definieron dos áreas de muestreo, correspondiendo cada una a un círculo de 20 m de radio alrededor de un árbol grande (diámetro a la altura del pecho DAP >40cm), tomado como punto de referencia y separadas por una distancia mínima de 40 m. En cada uno de los dos árboles se estableció un transecto principal, perpendicular a la pendiente dominante del terreno, el cual comprende tres puntos de muestreo (A, B que corresponde al árbol, y C) distantes entre sí de 10 m. En cada uno de estos puntos, se trazó un transecto secundario, perpendicular al principal, de 4 m de largo, con a su vez, tres puntos de muestreo. El muestreo del suelo se realizó en el horizonte superficial (0 a 20 cm) de cada punto. Se tomaron núcleos de suelo no perturbado para determinar la densidad aparente y una muestra compuesta de suelo para análisis físicos (textura, humedad, densidad real) y químicos (carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo extraíble, cationes intercambiables, pH, aluminio intercambiable, capacidad de intercambio catiónico). La muestra compuesta está conformada por tres sub-muestras tomadas en los tres puntos del transecto secundario. Simultáneo a la extracción de las muestras, se llevó a cabo la descripción morfológica del suelo y la medición de la compactación.

Igualmente se efectuó un muestreo de macrofauna del suelo, siguiendo el método establecido por Moreira *et al.* (2012), el cual consiste en revisar manualmente un monolito de suelo de 25 x 25 x 30 cm que se divide por estratos de 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm de profundidad. Dicho monolito se excavó en cada punto (A, B y C) de cada árbol, teniendo así seis muestras de macrofauna por finca. Después de desmoronar manualmente la tierra de cada monolito por estrato, se colectó todo organismo superior a 2 mm. Las lombrices se colocaron en un frasco con formol al 4% y cualquier otro organismo se colocó en un frasco con alcohol al 70%. Posteriormente, en el laboratorio se identificaron los diferentes grupos taxonómicos con la ayuda de un microscopio estereoscópico y de claves taxonómicas. Por lo general, los organismos se identificaron hasta el nivel de orden para los insectos y de morfoespecie para las lombrices de tierra

(*Oligochaeta*); después se contaron y pesaron los diferentes grupos para obtener su densidad y biomasa.

Evaluación morfológica

A partir de la descripción morfológica del suelo en campo, se registraron del horizonte superficial los siguientes datos con ayuda de un formato preestablecido: estructura del suelo (tipo, tamaño y grado de desarrollo), macroporosidad (tamaño y abundancia de poros), raíces (tamaño y abundancia), resistencia a la ruptura, textura al tacto y color (con el código Munsell). Dichos parámetros morfológicos fueron medidos y clasificados de acuerdo con los criterios del *Field book for describing and sampling soils* (Schoeneberger *et al*., 2002). Después de un ranqueo del 1 al 5 de cada indicador, basado en la opinión de expertos, se obtuvo el índice de calidad morfológica de cada finca, mediante la suma de las calificaciones individuales de los indicadores, dividida por el número de indicadores. La calidad resultante fue categorizada como: baja (índice = 1 a 2), moderada (índice = 2.1 a 3); alta (índice = 3.1 a 4) y muy alta (índice = 4.1 a 5).

Evaluación de los nutrientes

A partir de la determinación de las propiedades químicas, el estado nutritivo del suelo de cada finca fue evaluado y clasificado mediante un índice de fertilidad basado en los niveles de los macronutrientes: nitrógeno total (N, en%), fósforo aprovechable (P, en mg kg^{-1}) y potasio intercambiable (K, en cmol kg^{-1}). Debido a que los valores de laboratorio de estos indicadores se expresan en unidades diferentes, para su utilización en un índice compuesto, se aplicó una transformación homotética de los datos con la fórmula:

$$y = 0.1+((x-b)/(a-b))*0.9$$

Dónde *y* es el valor de la variable después de la transformación, x es la variable a transformar, a es el valor máximo de la variable a transformar y b es el valor mínimo de la variable a transformar. De esta forma, los valores de los indicadores N-P-K fueron ordenados en una misma escala, de 0.1 a 1.0. El índice de fertilidad del suelo en cada finca se obtuvo con la suma de las calificaciones de cada indicador, dividida por el número de indicadores. El estado de fertilidad del suelo

fue clasificado como: bajo (índice <0.39), mediano (índice = 0.40 a 0.69) y alto (índice >0.70).

Evaluación del conocimiento tradicional

El conocimiento tradicional que poseen los cafeticultores sobre los suelos de sus fincas se evaluó dentro del marco de cinco talleres realizados en cada una de las cinco regiones del OC-ZCEV. Se aplicó un formato de evaluación visual de campo del estado del suelo, con base en trece indicadores: mantillo y hojarasca, lombrices, otros organismos, color, textura, raíces, consistencia, compactación, drenaje, erosión, profundidad fisiológica del suelo y materia orgánica. Según el estado del suelo, cada indicador recibía una calificación: 1 = bajo/pobre/malo, 2 = moderado/regular, y 3 = alto/rico/bueno. La calificación final del estado del suelo, se obtuvo a partir de la suma de la calificación individual de cada indicador, dividida por el número de indicadores. Con un valor comprendido entre 1 y 3, dicha calificación expresa el conocimiento tradicional y la percepción campesina del estado del suelo.

11.3. Resultados

Propiedades de los suelos

En la región Norte (Atzalan y Misantla), la textura dominante de los suelos es franco-arcillosa (27 a 40% de arcilla), pero en algunas fincas el suelo puede ser franco (19 a 27% de arcilla) o arcilloso (hasta 48% de arcilla) (Figura 11.1a). El contenido de materia orgánica en el horizonte superficial fue de 8.0% (mediana), pero con un rango de 3.6 a 11.6%; dos fincas presentaron valores inferiores a 5% (Figura 11.1b). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) alcanzó 24.8 cmol kg^{-1} (mediana), con una fluctuación entre 10.7 y 39.4 cmol kg^{-1} (Figura 11.1c). La densidad aparente fluctuó entre 0.8 y 1.2 mg m^{-3}, consecuencia de una porosidad total de 62% (mediana), variando entre 46 y 66% (Figura 11.1d).

En la región Centro-norte (Coatepec), los suelos son de textura franca a franco-arcillosa, dominando esta última. La proporción de arcilla fue de 34% (mediana), pudiendo elevarse hasta 42%. El contenido de materia orgánica fue de 7.6% (mediana) y ninguna de las fincas tuvo valores inferiores a 5%. La capacidad de

intercambio catiónico (CIC) alcanzó 19.6 cmol kg^{-1} (mediana), con una fluctuación entre 13.4 y 29.6 cmol kg^{-1}. La densidad aparente fluctuó entre 0.6 y 1.1 mg m^{-3}, como consecuencia de una porosidad total de 65% (mediana) y variando entre 55 y 74%.

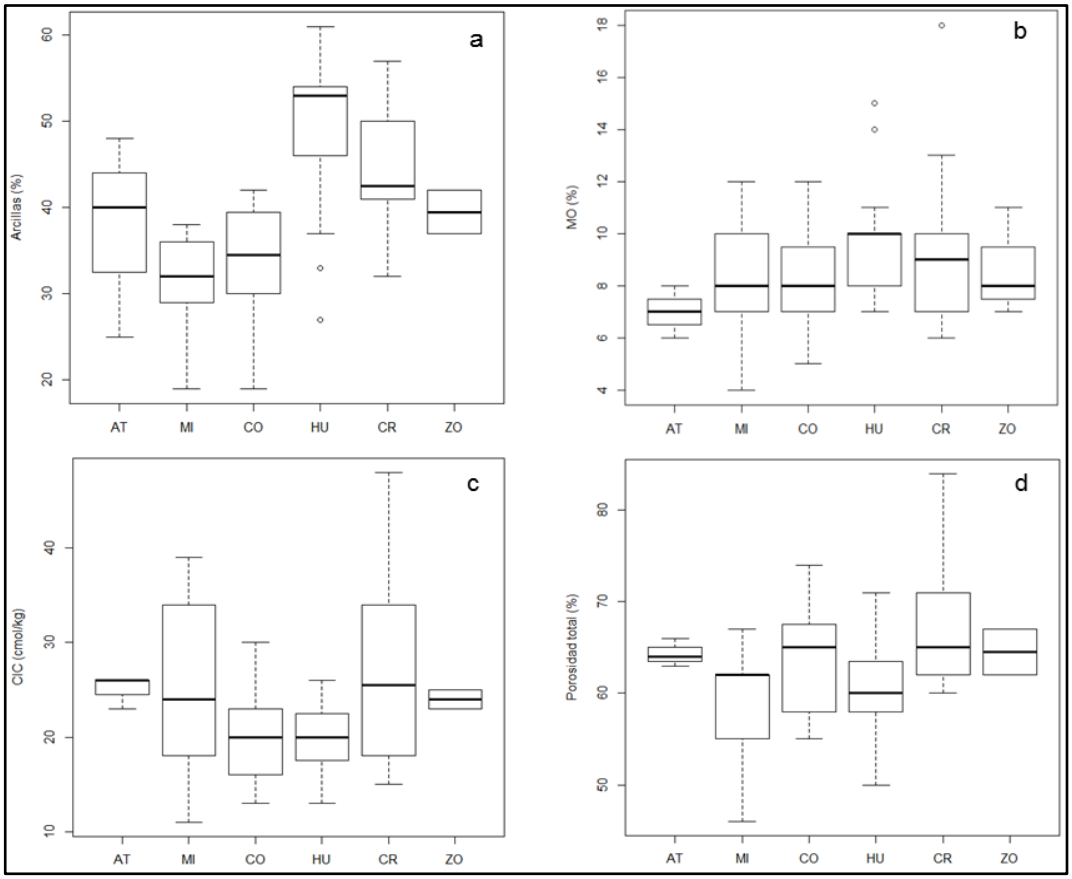


Figura 11.1. Diagrama de caja (mediana, Q1, Q3) y bigote (Mín., Máx.) de: contenido de arcilla (a), contenido de materia orgánica (b), capacidad de intercambio catiónico (c), y porosidad total (d), en los suelos de las regiones del OC-ZCEV. Región Norte = AT y MI (Atzalan y Misantla), Región Centro-norte = CO (Coatepec), Región Centro-sur = HU (Huatusco), Región Sur= CR y ZO (Córdoba y Zongolica).

En la región Centro-sur (Huatusco), los suelos son de textura arcillosa en su gran mayoría. El contenido de arcilla fue de 52%, con fluctuaciones entre 27% y 61%. La materia orgánica se elevó a 9.8% (mediana) y el valor más bajo fue de 6.5%. La

capacidad de intercambio catiónico fue de 20.2 cmol kg^{-1} (mediana), con una fluctuación entre 13.0 y 26.0 cmol kg^{-1}. La densidad aparente varió entre 0.6 y 1.2 mg m^{-3}, inducida por una porosidad total de 60% (mediana) y variando entre 50 y 71%.

En la región Sur (Córdoba y Zongolica), los suelos son de textura arcillosa en nueve fincas (arcilla entre 40% y 57%) y franco-arcillosa a franco-arcillo-arenosa, en las tres restantes. El contenido de materia orgánica fue medio a alto (6 a 18%) y ninguna de las fincas tuvo deficiencia. La capacidad de intercambio catiónico fue de 24 cmol kg^{-1} (mediana), con una fluctuación entre 14.9 y 48.1 cmol kg^{-1}. La densidad aparente varió entre 0.4 y 1.0 mg m^{-3}, inducida por una porosidad total de 65% (mediana) y variando entre 60 y 84%. En todas las fincas del OC-ZCEV existe una fuerte correlación entre la materia orgánica, la CIC y la porosidad total, demostrando su influencia benéfica en ciertas propiedades químicas y físicas de los suelos (Figura 11.2).

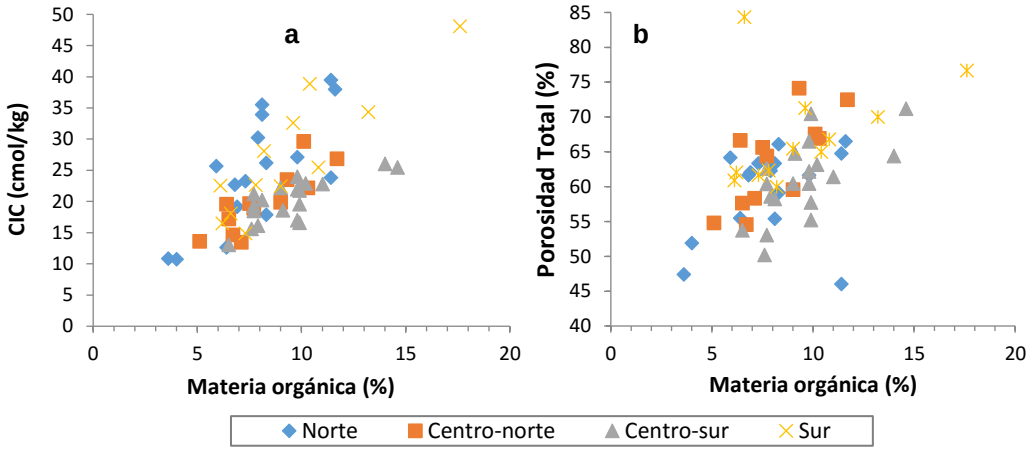


Figura 11.2. Influencia de la materia orgánica sobre la capacidad de intercambio catiónico (a) y la porosidad total (b) en los suelos de las regiones del OC-ZCEV.

Acidez del suelo y contenido de macronutrientes

En la región Norte (Atzalan y Misantla), la acidez del suelo es fuerte con un pH de 4.8 (mediana) y cuatro fincas que presentaron un pH de 4.1 a 4.5 (Figura 11.3a), correspondiendo a un grado de acidez muy restrictivo. A continuación, se

presentan los valores de nitrógeno total (N), fósforo aprovechable (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) intercambiables, expresados en unidades ppm (mg kg^{-1}), de manera a facilitar la comparación de valores entre estos elementos. El nitrógeno total alcanzó un nivel medio de 4,197 ppm (0.42%), pero siete fincas presentaron valores inferiores a 4,000 ppm en este nutriente (Figura 11.3b). El fósforo aprovechable alcanzó niveles medios y altos (23 a 39 ppm en promedio) y dos fincas fueron deficientes (valores inferiores a 7 ppm) (Figura 11.3c). Los niveles de potasio intercambiable fueron medios a altos (mediana = 253 ppm ó 0.65 cmol kg^{-1}) y no se registró deficiencia en ninguna finca (Figura 11.3d).

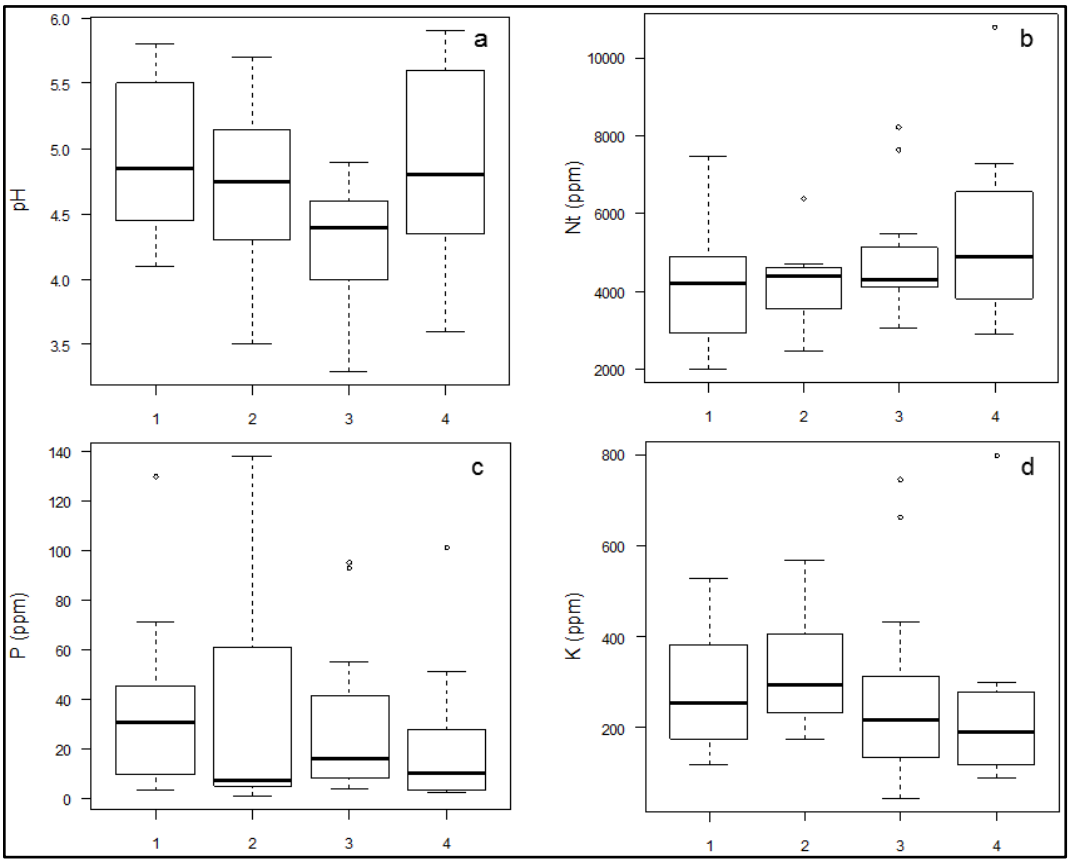


Figura 11.3. Diagrama de caja (mediana, Q1, Q3) y bigote (Mín., Máx.) del pH (a), nitrógeno total (b), fósforo (c), y potasio (d), en los suelos de las regiones del OC-ZCEV. 1 = región Norte, 2 = región Centro-norte, 3 = región Centro-sur, 4 = región Sur.

Tampoco hubo deficiencia en calcio (2,665 ppm ó 13.3 cmol kg^{-1}) y magnesio (374 ppm ó 3.1 cmol kg^{-1}), salvo en una finca de Misantla, respecto al Mg (valor inferior a 241 ppm ó 2.0 cmol kg^{-1}) (Figura 11.4). Sin embargo, en las fincas de Atzalan existe un desequilibrio entre Ca y K, mientras que la región de Misantla se caracteriza por un desequilibrio casi generalizado entre los altos valores de Ca + Mg y K.

En la región Centro-norte (Coatepec), la acidez del suelo es fuerte con un pH de 4.7 y seis fincas tuvieron un pH inferior a 4.5 (entre 3.5 y 4.5). El N total fue de nivel medio (4,396 ppm o 0.44%) y una finca presentó deficiencia. El P extraíble alcanzó el nivel límite entre bajo y moderado (7 ppm, mediana), pero siete fincas registraron deficiencias (de 1.4 a 7 ppm), mientras que dos tuvieron valores de 118 y 138 ppm. Los niveles de K fueron medios a altos (292 ppm ó 0.75 cmol kg^{-1}) y no se registró ninguna finca con deficiencia (todos los valores fueron superiores a 120 ppm). El Ca intercambiable alcanzó niveles medios a altos (1,360 ppm ó 6.8 cmol kg^{-1}), pero cuatro fincas presentaron deficiencia (valor inferior a 1,000 ppm ó 5.0 cmol kg^{-1}). El Mg intercambiable alcanzó 295 ppm (2.4 cmol kg^{-1}), pero cuatro fincas también fueron deficientes en este nutriente (valor inferior a 244 ppm ó 2.0 cmol kg^{-1}). La región se caracteriza por un desequilibrio entre Ca y K en cuatro fincas y entre Mg y K en dos fincas.

En la región Centro-sur (Huatusco), la acidez del suelo es fuerte con un pH de 4.4 (mediana) y variando entre 3.3 y 4.8. Seis de ellas presentaron incluso un pH inferior o igual a 4.0, por lo cual es de esperarse una posible toxicidad en aluminio, misma que empieza a manifestarse cuando el contenido de aluminio (Al) intercambiable es superior a 2.0 cmol kg^{-1}. El nitrógeno total fue de nivel medio (4,292 ppm ó 0.43%), pero cinco fincas fueron deficientes en este nutriente. El fósforo aprovechable alcanzó niveles medios (16 ppm, mediana), aunque la dispersión de los valores fue grande (4.1 a 95.3 ppm) y dos fincas fueron deficientes (<7 ppm). Los niveles de K fueron medios a altos (218 ppm ó 0.56 cmol kg^{-1} en promedio) y cuatro fincas fueron deficientes. El calcio alcanzó 1,350 ppm (6.75 cmol kg^{-1}), pero también hubo seis fincas con deficiencia (entre 220 y 1,000 ppm). El magnesio llegó a 188 ppm (1.55 cmol kg^{-1}, mediana), con 14 fincas deficientes en este nutriente (valores ente 49 y 240 ppm). Existe un desequilibrio entre Ca y K en cuatro fincas y entre Mg y K en 11 fincas, situación a tomarse en cuenta en los programas de fertilización.

En la región Sur (Córdoba y Zongolica), la acidez del suelo es fuerte con un pH de 4.8 (mediana); cuatro fincas presentaron un pH entre 4.0 y 4.5 y una finca tuvo un pH inferior a 4 (extremadamente ácido), con riesgo de toxicidad en aluminio. El nitrógeno total fue de nivel medio (4,891 ppm ó 0.49%), pero tres fincas acusaron deficiencia. El P aprovechable alcanzó niveles medios y altos (10 ppm, mediana), pero con una importante variación entre fincas (2 a 100 ppm) y cinco fincas presentaron deficiencia. Los niveles de K fueron medios a altos (191 ppm ó 0.49 cmol kg^{-1}) y tres fincas registraron deficiencia en este nutriente. El Ca alcanzó 2,665 ppm (13.3 cmol kg^{-1}, mediana) y sólo una finca presentó deficiencia. El magnesio llegó hasta 371 ppm (3.0 cmol kg^{-1}) y sólo dos fincas fueron deficientes en este nutriente. Los altos niveles de Ca y Mg provocaron un desequilibrio nutricional con el potasio en 10 fincas, con el riesgo de impedir la correcta asimilación de K por parte de los cafetos.

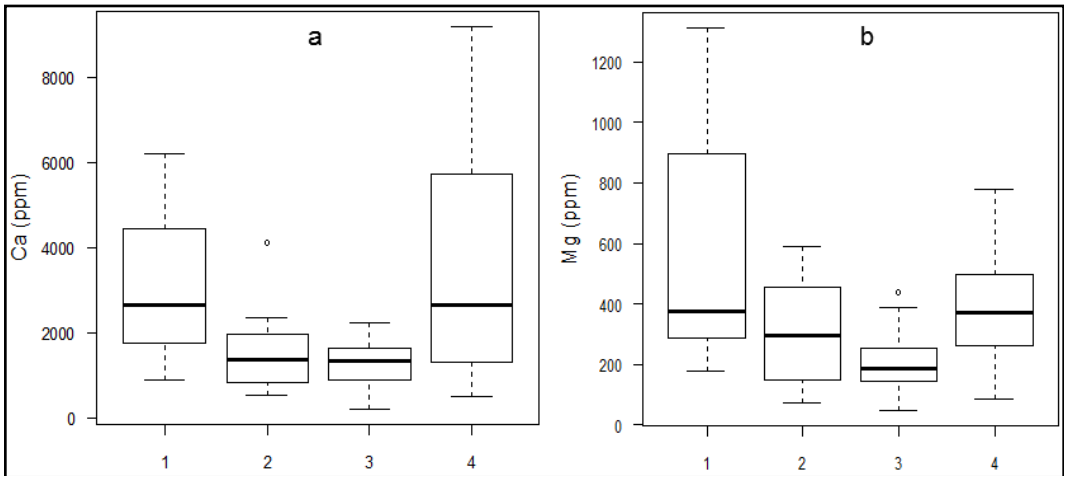


Figura 11.4. Diagrama de caja (mediana, Q1, Q3) y bigote (Mín., Máx.) del calcio (a) y magnesio (b) intercambiable en los suelos de las regiones del OC-ZCEV. 1 = región Norte, 2 = región Centro-norte, 3 = región Centro-sur, 4 = región Sur.

Calidad morfológica del suelo

Las propiedades morfológicas del suelo en general, no han recibido mucha atención en los procedimientos de evaluación del estado de fertilidad. Sin embargo, no dejan de ser importantes, porque son valiosos indicadores, visuales y táctiles, del grado de salud del suelo. Con base en estas propiedades, el 58% de

las fincas del OC-ZCEV presentó un suelo de calidad mediana (calificación de 2.1 a 3.0) y el 40%, de calidad alta (calificación de 3.1 a 4.0). Sólo el 2% de las fincas entró en la categoría de calidad baja (calificación de 1 a 2). Ninguna de las fincas alcanzó la categoría de calidad muy alta, debido generalmente a restricciones en los indicadores de estructura del suelo y de macroporosidad, o de textura y macroporosidad. En ocasiones fue también porque el suelo de las fincas era duro (fuerte resistencia a la ruptura), condición que se presentó en la época seca.

En las regiones Norte y Centro-norte dominan los suelos con alta calidad morfológica (63 y 67% de las fincas, respectivamente), mientras que en las regiones Centro-sur y Sur, los suelos de moderada calidad son los que destacan (94 y 67% de las fincas, respectivamente). La textura arcillosa, con sus efectos restrictivos sobre la macroporosidad, es la propiedad que más influyó en la disminución de la calidad de los suelos en estas últimas dos regiones. Por su parte, la región Centro-norte es la única que tuvo una finca con suelos de calidad morfológica baja.

Índice de fertilidad

El índice de fertilidad (IF) de las 59 fincas analizadas, basado en los contenidos de N, P y K, brinda un medio simple de comparación del estado de fertilidad de las regiones del OC-ZCEV. Reveló que en total el 73% de las fincas presentó una baja fertilidad química (IF <0.39) y el 27% restante, una fertilidad media IF = 0.4 a 0.69). Ninguna de las fincas alcanzó una fertilidad alta (IF >0.7), la cual representaría el nivel óptimo de N, P y K en el suelo. Los valores promedio de IF fueron muy similares entre regiones y confirman así la baja fertilidad generalizada. El valor promedio de la región Centro-norte fue de 0.36 y el de la región Centro-sur, de 0.33. Sin embargo, es en las regiones Centro-sur y Sur donde también se localizan dos fincas con los valores más elevados (IF = 0.69 y 0.63, respectivamente), mientras que en las regiones Norte y Centro-norte, los valores de IF más altos sólo alcanzaron 0.55 y 0.54, respectivamente.

Macrofauna

En total se encontraron 21 grupos diferentes de macrofauna. La finca MI09 de la región de Misantla tuvo la diversidad más baja con sólo tres grupos, mientras que la CO05 de Coatepec, tuvo la más alta, con 17 grupos. Los grupos más

comunes fueron las lombrices de tierra (Oligochaeta), las hormigas (Formicidae) y otros Hymenoptera, los mil pies (Diplopoda), los escarabajos adultos y larvas (Coleoptera), pulgones (Homoptera) y los cien pies (Quilopoda). La proporción de cada grupo por región (Figura 11.5) indica que las lombrices se encontraron en altas proporciones en la mayoría de las fincas y regiones, pudiendo alcanzar más del 80% de la macrofauna; sólo en tres fincas no se presentaron. Sin embargo, las regiones de Atzalan-Misantla y Coatepec son más diversas que las de Huatusco y Córdoba-Zongolica, porque hay más grupos representados. En las regiones de Coatepec y Huatusco, las larvas de Coleoptera están bastante bien representadas y pueden alcanzar más del 30% en ciertas fincas. Ahí los Chilopoda ya no se encontraron en cantidad importante, pero dominaron las hormigas y otros Hymenoptera. En la región de Córdoba la macrofauna fue reducida, y aunque fueron varios grupos, se registraron pocos individuos en cada uno, correspondiendo a larvas de mosca (Diptera) o colémbolos. El grupo de las lombrices se estudió con mayor fineza hasta el nivel de morfoespecie y se lograron identificar siete lombrices diferentes. La lombriz *Pontoscolex corethrurus* siempre fue dominante, y la región que tuvo mayor diversidad de lombrices fue Misantla, con cinco de las siete morfoespecies identificadas (Figura 11.6).

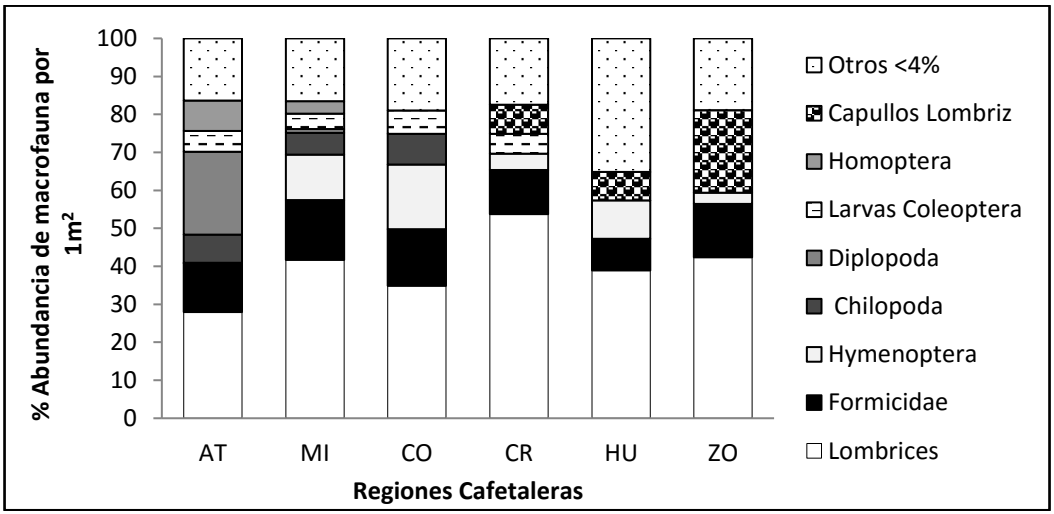


Figura 11.5. Abundancia proporcional de los grupos de macrofauna en las seis zonas del OC-ZCEV. (AT: Atzalan, MI: Misantla, CO: Coatepec, CR: Córdoba, HU: Huatusco y ZO: Zongolica).

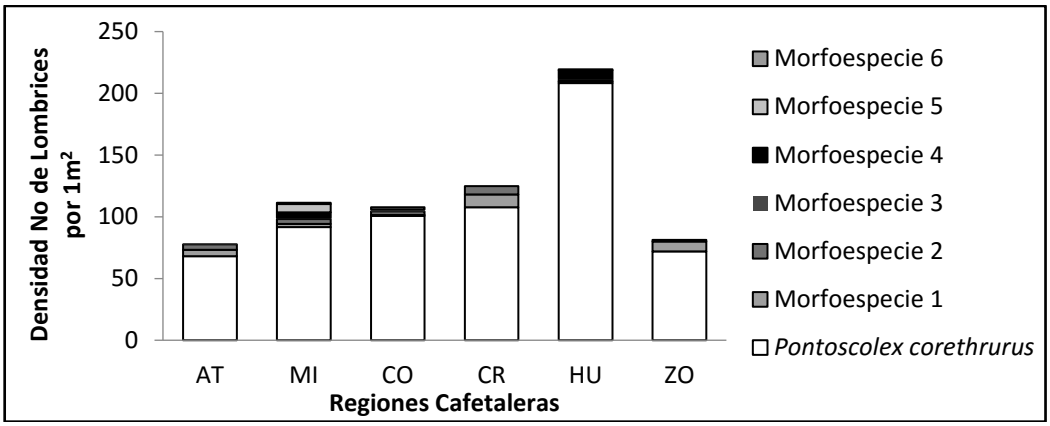


Figura 11.6. Densidad de las especies de lombrices de tierra en las seis zonas del OC-ZCEV. (AT: Atzalan, MI: Misantla, CO: Coatepec, CR: Córdoba, HU: Huatusco y ZO: Zongolica).

La mayor densidad de macrofauna se encontró en la finca HU09 de Huatusco, con 854 individuos m^{-2} y la mayor biomasa en HU07, con 266 g m^{-2}. Los valores más bajos de macrofauna total se encontraron en Coatepec, con la finca CO12 que tuvo 51 individuos m^{-2} equivalente a una biomasa 6.56 g m^{-2}. En promedio, Huatusco fue la región con más alta densidad y biomasa (425 individuos m^{-2} y 78 g m^{-2}), mientras que la región Sur (Córdoba-Zongolica) tuvo las más bajas, con menos de 300 individuos m^{-2} y 30 g m^{-2} (Figura 11.7).

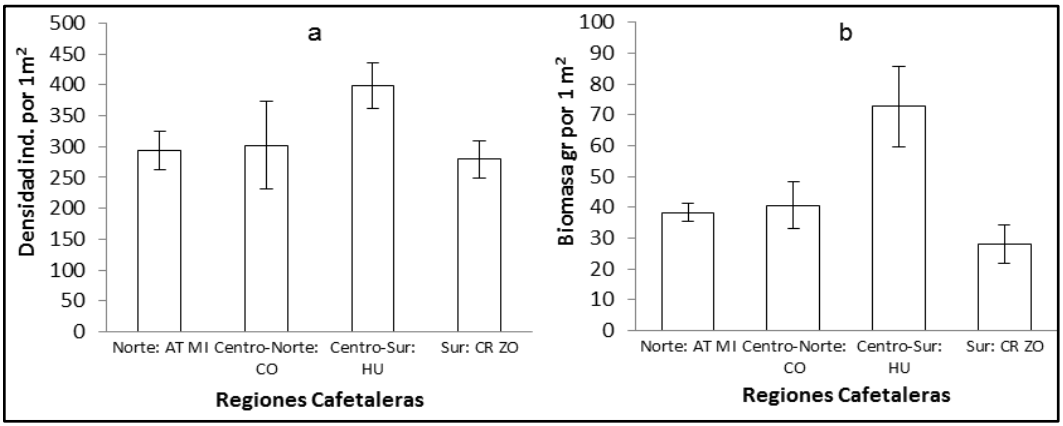


Figura 11.7. Densidad (a) y biomasa (b) promedio de la macrofauna total en regiones del OC-ZCEV. (AT MI: Atzalan-Misantla, CO: Coatepec, HU: Huatusco, CR ZO: Córdoba-Zongolica).

A pesar de la gran variabilidad de datos, se logró establecer una diferencia significativa de la cantidad de macrofauna promedio entre la región Centro-sur (Huatusco) y Sur (Córdoba-Zongolica).

Conocimiento tradicional

De un total de 117 productores que participaron en los talleres regionales y que llenaron el cuestionario de evaluación visual de la calidad del suelo, 62 personas (53%) consideraron que el suelo de su finca es rico o de alta calidad, 48 personas (41%) estimaron que es de calidad moderada y 7 personas (6.5%) lo clasificaron como malo o de baja calidad. Los productores con suelos de alta calidad fueron mayoría (≥50% de los encuestados) en las regiones Norte, Centro-norte y Sur, mientras que los que tienen suelos de calidad moderada dominaron en la región Centro-sur (Huatusco) con el 54% de los productores. Los suelos de baja calidad fueron minoría (<10% de productores) en cualquiera de las regiones y fueron incluso inexistentes en la Centro-sur. Sin embargo, de todas las personas que evaluaron sus suelos como de baja calidad (siete personas), el 57% habita en la región de Zongolica, aunque también es en esta región donde dominó el número de productores con suelos de alta calidad (45%).

En gran parte de las fincas, la baja calidad del suelo fue atribuida a la baja cantidad de materia orgánica, la poca actividad biológica, la erosión y poca profundidad del suelo y la compactación. En las otras fincas e independientemente de las regiones, los factores limitantes edáficos reconocidos por los productores fueron por lo general, la lenta descomposición de la materia orgánica y la baja actividad de la fauna del suelo; algunas personas reconocieron también a la textura arcillosa como un problema. Se desconoce la situación de las fincas de Misantla, ya que los productores de esta región no participaron en los talleres. Los cafeticultores poseen un conocimiento suficiente del suelo de su finca, pero tienen dificultades para evaluar por separado diferentes propiedades, en particular las relacionadas con la fauna del suelo, la cual reconocen más bien como nociva (gallina ciega, nigüa, tuza, etc.). Por otro lado, consideran que el suelo bueno es aquel que produce, por lo que ven su calidad a través del rendimiento de café, más que por sus propiedades intrínsecas y las interacciones entre ellas.

11.4. Recomendaciones generales para un manejo sustentable del suelo

Suelos con problemas de acidez

Los suelos del OC-ZCEV están naturalmente propensos a perder nutrientes por lixiviación debido a las abundantes lluvias. La incorporación al suelo de elementos químicos procedentes de la descomposición de la materia orgánica o de la atmósfera es insuficiente para contrarrestar el excedente de iones H+ que genera acidez. En consecuencia, mientras más fuerte es la lixiviación, mayor será la acidez del suelo. La acidez no es un problema en sí, ya que muchas especies arbóreas están adaptadas a suelos ácidos. Se convierte en problema para el cultivo cuando tiene como efecto secundario el incremento de aluminio intercambiable en la solución el suelo, hasta que alcanza niveles tóxicos para las plantas. Estos niveles, sin embargo, son variables y dependen de la tolerancia de la planta. El pH óptimo para *C. arabica* es de 5.5 a 6, aunque la planta se encuentra en suelos con pH hasta 5. Un pH entre 4.5 y 5 es restrictivo y cuando es inferior a 4.5 es muy limitante (Descroix y Snoeck, 2004).

Los suelos con pH <4.5 requieren atención, lo cual es el caso de 28 de 59 fincas del OC-ZCEV, especialmente en la región Centro-sur (Huatusco). Cuando se observan señales de muy fuerte acidez (suelo de color claro, crecimiento lento del cafeto y estrés asociados a deficiencia de nutrientes, crecimiento de helechos y otras plantas acidófilas en la finca, pequeño tamaño de las raíces), es recomendable encalar el suelo. Los beneficios de la aplicación de cal, además de elevar el pH del suelo, es mejorar su estructura, aumentar la disponibilidad de nutrientes y mejorar las condiciones de vida de los microorganismos. Sin embargo, sólo el análisis del suelo indicará el tipo y la cantidad de material a utilizar. Asimismo, las cantidades a aplicar dependerán de la capacidad tampón o amortiguador del suelo, o sea de su resistencia a cambiar de pH (Brady y Weil, 2004). Aplicaciones excesivas de cal pueden provocar desequilibrios nutricionales entre Ca, Mg y K, dispersar los agregados del suelo y, por ende, disminuir la producción de la planta (Snoeck y Lambot, 2004), por lo que se recomienda no subir el pH más una unidad por aplicación de cal; en el caso del OC-ZCEV consistiría en cambiar de pH 4.5 a pH 5.5. En los cafetales de las regiones intertropicales húmedas, es más importante neutralizar el Al

intercambiable hasta llegar a un nivel no tóxico, que buscar el pH óptimo de mayor rendimiento del cultivo (Díaz-Marín *et al*., 2008). El encalado de los cafetales debe repetirse cada tres años para alcanzar el pH deseado y los niveles óptimos de Ca en el suelo (Regalado, 1996). Dependiendo de los objetivos a alcanzar, se utilizarían materiales como piedra caliza quemada (85% de CaO), cal hidratada (65% de CaO) piedra caliza molida (80 a 95% de $CaCO_3$) o piedra caliza dolomítica (52% de $CaCO_3$ y 42% de MgO).

Suelos con deficiencias o desequilibrios de macronutrientes

En las fincas del OC-ZCEV, el nitrógeno es el nutriente más frecuentemente deficiente (20 de 59 fincas), con valores inferiores a 400 ppm (0.4%), seguido por el fósforo (16 de 59 fincas), con valores inferiores a 7 ppm y por el potasio (siete de 59 fincas), con valores inferiores a 117 ppm (0.3 cmol kg^{-1}), según niveles reportados por Regalado (1996). Sin embargo, son pocas las fincas cuyos suelos presentan deficiencia de más de un nutriente a la vez; sólo cuatro fincas tienen deficiencia simultánea de N y P, otras cuatro fincas, de N y K, sólo una finca con deficiencia de P y K y ninguna con los tres macronutrientes simultáneos.

De un total de 43 de 59 fincas con deficiencias de algún nutriente, las regiones Norte y Centro-norte se caracterizan por la deficiencia de dos nutrientes (N, P) en 19 fincas, mientras que las regiones Centro-sur y Sur se caracterizan por presentar deficiencia en tres nutrientes, en 24 fincas. Este patrón indicaría que el suministro de nutrientes en las regiones de Atzalan, Misantla y Coatepec debería estar enfocado a elevar los niveles de N y P, mientras que, en Huatusco, Córdoba y Zongolica, el manejo de nutrientes debería contemplar la aplicación de N, P y K. Estos resultados no coinciden exactamente con las indicaciones de fertilización de Regalado (1996), quien recomienda la fórmula 18-12-00 (sin K) para la región de Córdoba, mientras que los resultados de este estudio señalan que el K es deficitario, y la fórmula 18-00-12 (sin P) para la región de Coatepec y Atzalan (Tlapacoyan), mientras que este estudio muestra que ahí la aplicación de P es requerida.

El desequilibrio de los nutrientes calcio y magnesio respecto del potasio (Ca+Mg:K) es un problema frecuente en 31 de 59 fincas del OC-ZCEV. El rango ideal de (Ca+Mg:K) es de 10 a 20 y sólo se logró en 28 fincas, debido a causas naturales (menor lixiviación, un mayor contenido de materia orgánica, pH

menos ácido) y probablemente a un manejo adecuado de los nutrientes del suelo (fórmula de fertilizante correcta, uso acertado de abonos orgánicos). La principal causa del desequilibrio es el exceso de Ca y Mg respecto del K, producto de la abundancia de estos minerales originados por la roca madre caliza presente en las regiones Norte y Sur. La forma de corregir este desequilibrio es elevar el potasio con la aplicación de fertilizantes o abonos con un contenido suficiente de K, lo cual debe determinarse a partir de los análisis de suelos. En las regiones Centro-norte y Centro-sur los desequilibrios son menos frecuentes y pueden deberse tanto al excedente de Ca y Mg respecto del K, o deficiencia de ellos, generalmente del Mg. En el primer caso se aumentaría la dosis de fertilizante con K y en el segundo, se aplicaría, además de los fertilizantes o abonos rutinarios, polvo de roca caliza ($CaCO_3$) o cal dolomítica (contiene Ca y Mg) para compensar las deficiencias existentes. Ambos productos, además de su efecto equilibrador sobre los nutrientes, servirán también como enmienda para corregir la acidez del suelo.

Suelos restrictivos en materia orgánica y actividad biológica

Los suelos del OC-ZCEV tuvieron en general niveles adecuados de materia orgánica e incluso, la mayoría de las fincas presentaron un contenido alto; sólo cuatro fincas de las 59 estuvieron por debajo de 5% de materia orgánica. Esta buena cantidad de materia orgánica permitió el establecimiento de importantes poblaciones de lombrices, las cuales se encuentran, por ejemplo, en cantidades 34% superiores a las reportadas por Bartz *et al*. (2009) en cafetales con manejo orgánico en Londrina, Brasil, donde la comunidad contó con 154 individuos m^{-2}, una biomasa de 30 g m^{-2} y seis especies de lombrices, de las cuales, *P. corethrurus* fue igualmente dominante. En cambio, en cafetales de Colombia, Feijoo-Martínez *et al*. (2010) reportaron lombrices con 224 a 540 individuos m^{-2}, cantidades superiores o iguales a las del OC-ZCEV y atribuibles al tipo de manejo del cafetal. También reportaron valores semejantes a los del presente estudio para los coleópteros y los diplópodos, y coincidieron que los diplópodos son sensibles al manejo del cafetal, ya que en ciertas fincas no se encontraron. La presencia de importantes cantidades de lombrices refleja la riqueza del suelo en materia orgánica e indica que es biológicamente activo. La aplicación de abonos orgánicos es una forma de devolver al suelo buena parte de lo que lo que pierde cada año por la cosecha del café, al mismo tiempo que contribuye a conservar o mejorar los niveles de materia orgánica y la biota del

suelo. Se recomienda aprovechar todas las fuentes disponibles para incorporar materia orgánica al suelo. Entre los materiales que más se utilizan en las fincas están la pulpa del café parcialmente composteada o lombricomposteada (Aranda *et al*., 2004), el estiércol de ganado y la gallinaza, los tallos y hojas del plátano y los bagazos de la caña de azúcar. Una fuente de materia orgánica muy importante son los residuos vegetales (hojarasca) de los árboles de sombra y de las malezas. Éstos constituyen una valiosa cubierta vegetal, protectora del suelo contra la erosión, y después, conforme se va descomponiendo, incorpora materia orgánica al suelo. Sin embargo, para que los abonos orgánicos puedan aportar nutrientes al suelo en forma significativa, deben aplicarse en cantidades 10 veces mayores, o aún más, que las de fertilizantes químicos. Las mayores limitantes para el uso generalizado de los abonos orgánicos en cafetales son la dificultad para producirlos en grandes cantidades y el costo de su acarreo. Sin embargo, es bueno tener presente que los abonos orgánicos son una inversión para el suelo y que su efecto benéfico es acumulativo con el tiempo.

Necesidad de una zonificación agroecológica de las regiones cafetaleras

Los índices de calidad del suelo, tanto los basados en parámetros científicos, como los derivados del conocimiento tradicional, mostraron poca coincidencia a nivel de finca, incluso a nivel de región. Se esperaba que esta coincidencia fuera bien definida entre el Índice de calidad morfológica y el Índice de evaluación visual de los cafeticultores, ya que varios de sus indicadores eran comunes. Sin embargo, en forma recurrente, los cafeticultores atribuyeron a los suelos de sus fincas calificaciones superiores a las otorgadas por las evaluaciones científicas. Esta falta de coincidencia hace patente que en las regiones cafetaleras del OC-ZCEV existe una carencia en el conocimiento agroecológico y de las propiedades de los suelos relevantes para un manejo adecuado de los nutrientes. Es recomendable realizar una zonificación agroecológica en áreas homogéneas a una escala geográfica definida, tanto en sus atributos ambientales, de requerimientos del café o de sistemas cafetaleros mixtos, como de prácticas de manejo sustentable del suelo y del cultivo, basada tanto en el conocimiento científico, como en el campesino. Las unidades agroecológicas del café se visualizan como unidades de manejo que toman también en cuenta la historia y necesidades de las fincas, dependiendo del objetivo de producción, de la variedad de café y de las posibilidades económicas de los productores. Estas unidades no forzosamente deben coincidir con la delimitación actual de

las regiones cafetaleras. A pesar de los pocos antecedentes que existen en cuestiones de zonificaciones agroecológicas para sistemas agroforestales, se pudo desarrollar una metodología para el sistema café-palma camedor en la Zona Centro del Estado de Veracruz (Pérez y Geissert, 2006). La cartografía elaborada permitió identificar áreas de aptitud climática y edafológica para el referido sistema, aunque los requerimientos edáficos del café fueron derivados de la literatura especializada y no fueron corroborados en campo. Por tal motivo, se considera necesario realizar una nueva zonificación basada en un levantamiento de suelos actualizado y respaldado por análisis de laboratorio que proporcionen valores de referencia indispensables para tomar decisiones acertadas sobre el manejo sustentable de la fertilidad del suelo y sobre el seguimiento de la producción del café. Durante las entrevistas con los cafeticultores, también se hizo evidente la carencia de asesoría técnica y de capacitación que tienen en cuanto al conocimiento del suelo y de su manejo.

11.5. Conclusiones

Se determinaron las principales propiedades físicas, químicas y biológicas de las 59 fincas del Observatorio Cafetalero del centro del estado del Veracruz, con base en muestreos intensivos de campo, descripciones *in situ* y análisis de laboratorio. Asimismo, se realizó una encuesta con los productores de café, para conocer su percepción de la calidad de los suelos de sus fincas.

El diagnóstico científico y la evaluación campesina de la calidad del suelo fueron sólo parcialmente coincidentes. Aunque los productores reconocieron la riqueza del suelo en materia orgánica y una actividad biológica adecuada, el estado de fertilidad química fue sobreestimado. Los suelos del OC-ZCEV son ácidos a muy ácidos, y la mayoría requiere prácticas de corrección del pH y el restablecimiento del balance nutricional del suelo, para lo cual el encalado es la solución. Asimismo, las deficiencias de nutrientes encontradas en ciertas regiones, en particular N y P, pueden corregirse con un plan de manejo de nutrientes adaptado a cada finca y basado en los análisis de suelo y foliares. Para asegurar una vida biológica saludable, se deben conservar o incrementar los buenos niveles de materia orgánica, aplicando abonos orgánicos, ya que la macrofauna es sensible a los rápidos cambios ambientales y de manejo. Los

grupos de organismos más sensibles son los diplópodos y los coleópteros, mientras que las lombrices se presentaron en casi todas las fincas.

Se hace necesario llevar a cabo una zonificación agroecológica del OC-ZCEV a un nivel de resolución pertinente, a fin de identificar territorios homogéneos y relevantes para la toma de decisión en materia de manejo y conservación del suelo, y para garantizar la sustentabilidad de la cafeticultura en general. Asimismo, es deseable una mayor capacitación de los cafeticultores en el conocimiento del suelo y para el manejo de la fertilidad.

Agradecimientos

Se agradece al proyecto CONACyT-FORDECyT (139378) por el financiamiento otorgado. A los campesinos y propietarios de las fincas que nos permitieron muestrear su suelo y a los brigadistas y coordinadores de los Consejos Regionales del Café que hicieron más fácil este trabajo. También un agradecimiento para Cynthia Ramírez C. y Estefany Escamilla del Centro Agrológico del Café, A.C., a Ana Mólgora, Pierre Mokondoko y Robert Manson por su colaboración en los talleres sobre el manejo de los suelos. A Beatriz Marín y Ana Mólgora por la preparación de varias gráficas. Un agradecimiento especial para el Dr. Robert Manson, responsable técnico del proyecto, por su invaluable coordinación.

Literatura citada

Aranda, D. E., L. Durán L. and E. Escamilla. 2004. Vermicomposting in coffee cultivation. p. 322-336. *In*: Wintgens, J. N. (ed.). Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders and Researchers. Wiley-VCH Verlag GmbH. Weinheim, Alemania.

Barrera-Bassols, N., J. A. Zinck and E. Van Ranst. 2006. Symbolism, knowledge and management of soil and land resources in indigenous communities: Ethnopedology at global, regional and local scales. Geoderma 65(2):118-137.

Barrios, E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. Ecological Economics 64(2):269-285.

Bartz, M. L. C., G. Brown G., A. Pasini, J. de Oliveira F., P. Curmi, J. Dorioz *et al*. 2009. Earthworm communities in organic and conventional coffee cultivation. Pesquisa Agropecuária Brasileira 44(8):928-933.

Brady, N. C. and R. R. Weil. 2004. Elements of the nature and properties of soils. 2nd ed. Prentice Hall. New Jersey, USA. 624 p.

Coleman, D. C., J. M. Oades and G. Uehara. 1989. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. University of Hawaii Press. Honolulu, USA. 277 p.

Daily, G. C., P. A. Matson and P. M. Vitousek. 1997. Ecosystem services supplied by soil. p. 113-132. *In*: Daily, G. (ed.). Nature's Services. Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, USA.

Descroix, F. and J. Snoeck. 2004. Environmental factors suitable for coffee cultivation. p. 164-177. *In*: Wintgens, J. N. (ed.). Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders and Researchers. Wiley-VCH Verlag GmbH. Weinheim, Alemania.

Díaz-Marín, C., S. Sadeghian-Khalajabadi y C. Morales-Londoño. 2008. Cambios químicos ocasionados por encalamiento y uso de lombrinaza en la etapa de almácigo del café. Cenicafé 59(4):295-309.

Doran, J. W., D. C. Coleman, D. C. Bezdicek and B. A. Stewart. 1994. Defining and assessing soil quality for sustainable environment. Soil Science Society of America. Special Publication 35. Madison, Wisconsin, USA. 244 p.

Ericksen, P. J. and M. Ardón. 2003. Similarities and differences between farmer and scientist views on soil quality issues in central Honduras. Geoderma 111(3):233-248.

Feijoo-Martínez, A., M. C. Zúñiga, H. Quintero, A. F. Carvajal-Vanegas y D. P. Ortiz. 2010. Patrones de asociación entre variables del suelo y usos del terreno en la cuenca del río La Vieja, Colombia. Acta Zoológica Mexicana 26(2):151-164.

Ferris, H. and T. Bongers. 2006. Nematode indicators of organic enrichment. Journal of Nematology 38(1):3-12.

Geissert, D. y A. Ibañez. 2008. Calidad y ambiente físico-químico de los suelos. p. 213-221. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Lavelle, P. and A. Spain. 2001. Soil ecology. Kluwer Academic Press. The Netherlands. 654 p.

Moreira, F. M. S., E. J. Huising y D. E. Bignell (eds.). 2012. Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México. 350 p.

Paoletti, M. G. 1999. Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability. Agriculture, Ecosystems & Environment 74(1):1-18.

Pérez, P. E. y D. Geissert K. 2006. Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*Coffea arabica* L.) - palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). Interciencia 31(8):556-562.

Quansah, C., P. Drechsel, B. B. Yrenkyi and S. Asante-Mensah. 2001. Farmers' perceptions and management of soil organic matter – a case study from West Africa. Nutrient Cycling in Agroecosystems 61(1):205-213.

Regalado, O. A. 1996. Manual para la cafeticultura mexicana. INCA-RURAL. Consejo Mexicano del Café. México, D. F. 156 p.

Schoeneberger, P. J., D. A. Wysocki, E. C. Benham and W. D. Broderson. 2002. Field book for describing and sampling soils. Version 2.0. Natural Resources Conservation Service. National Soil Survey Center. Lincoln, NE, USA. 132 p.

Snoeck, J. and Ch. Lambot. 2004. Crop maintenance. p. 246-269. *In*: Wintgens, J. N. (ed.). Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders and Researchers. Wiley-VCH Verlag GmbH. Weinheim, Alemania.

Swift, M. J., W. O. Heal and J. M. Anderson. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. Studies in Ecology. Volume 5. University of California Press. Berkeley, CA, USA. 372 p.

Thoden, T. C., G. W. Korthals and A. J. Termorshuizen. 2011. Organic amendments and their influences on plant-parasitic and free-living nematodes: a promising method for nematode management? Nematology 13(2):133-153.

XII. Cartografía de zonas prioritarias que proveen servicios ambientales hidrológicos en cafetales: caso de la Zona Centro del Estado de Veracruz

S. Pierre Mokondoko Delgadillo[1], Isabel García Coll[2], Avelino Martínez Otero[3], Robert H. Manson[4]

[1] Estudiante de Doctorado del Instituto de Ecología A.C. Red de Ecología Funcional. pierre.mokondoko@posgrado.inecol.edu.mx
[2] Director General de Planeación, Desarrollo y Recuperación Ambiental S. C.
[3] Investigador de Planeación, Desarrollo y Recuperación Ambiental S. C.
[4] Investigador del Instituto de Ecología A.C., Red de Ecología Funcional.

12.1. Introducción

Los principales problemas ambientales que enfrenta actualmente la sociedad son la degradación de los ecosistemas, sus recursos hídricos y principalmente la escasez del agua. Dada esta degradación, los cafetales bajo sombra serán esenciales para la provisión de agua y los servicios hidrológicos en el estado de Veracruz. A pesar de la importancia de los recursos hídricos, pocas veces se realizan análisis sistemáticos que muestren el impacto que tienen los diferentes usos de suelo, la pendiente, la precipitación y el tipo de suelo, sobre la provisión superficial de agua con el objetivo de priorizar áreas de conservación, por su alta capacidad en brindar servicios hidrológicos. En adición, no hay todavía una evaluación de la oferta y disponibilidad hídrica que ofrecen los cafetales bajo sombra. Por ello, en este capítulo proponemos un Modelo de Balance Hidrológico espacialmente explícito, el cual cuantifique la disponibilidad de agua superficial y priorice zonas de conservación que brindan servicios hidrológicos, en la zona cafetalera del centro de Veracruz.

El agua es un recurso natural sumamente importante y estratégico para el desarrollo y bienestar de la sociedad humana (Porporato *et al.,* 2004). Los recursos hídricos, como componentes principales del funcionamiento de muchos ecosistemas boscosos, históricamente han desempeñando un papel de vital importancia al proveer el agua necesaria tanto en calidad como en cantidad para consumo humano, agrícola e industrial. Sin embargo, en la actualidad, uno de los principales problemas ambientales que enfrenta la sociedad es la escasez del agua como resultado del incremento en la presión y

degradación de los ecosistemas y sus recursos hídricos. Este deterioro ha sido motivado por las tasas actuales de crecimiento poblacional y por los modelos de desarrollo económico predominantes, que promueven ciertos cambios en los patrones de uso de suelo, los cuales alteran el ciclo hidrológico, y, por lo tanto, degradan los recursos hídricos (Bruijnzeel, 2004; Wunder *et al*., 2008).

Dado este deterioro, ahora la producción de agua es considerada como un servicio ambiental que merece un precio económico (Turpie *et al*., 2008), el cual debe ser pagado por quienes consumen el agua, a favor de que los dueños de los ecosistemas que proveen este servicio los protejan, reforesten y aprovechen de manera sustentable (Brauman *et al*., 2007). Desde el año 2003 en México, se ha venido haciendo uso del término de Servicios Ambientales (SA) y también, se han desarrollado estudios científicos enfocados en la cuantificación y mapeo de estos servicios (Maass *et al*., 2005). En el mismo año dio inicio el programa federal de Pago por Servicios Ambientales (PSA), uno de los más grandes del mundo, el cual es gestionado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). El PSA empezó en la modalidad de hidrológicos y ha ido cambiando hasta incluir captura de carbono y biodiversidad dentro del programa federal ProÁrbol de 2006 a 2012 y a partir de 2013, incorporado dentro del Programa Nacional Forestal (Pronafor). Este programa tiene como objetivo la conservación y restauración de los servicios ambientales, además de fomentar la participación de diversos sectores sociales en el cuidado del agua, vía el pago a los propietarios cuyas tierras proporcionan dichos servicios (Muñoz-Piña *et al*., 2008; Alix-García *et al*., 2012). Del año 2003 al 2011 la CONAFOR asignó más de $6 mil millones de pesos para este programa, y participaron alrededor de 5,800 grupos de comunidades y propietarios de tierras privadas, cubriendo una superficie total de 3’113,000 ha, en el territorio nacional. La mayoría de estos recursos fueron destinados para el pago por servicios hidrológicos (Muñoz-Piña *et al.,* 2011).

Este concepto de “SA” se refiere a los beneficios que generan los ecosistemas para las personas (Daily, 1997). En específico, los SA son las funciones que resultan de las distintas combinaciones de los procesos físicos, químicos y biológicos que contribuyen al automantenimiento de los ecosistemas, y a su vez, distintas combinaciones de estas funciones resultan en beneficios tangibles e intangibles que satisfacen las necesidades humanas (de Groot *et al.,* 2002; Daily *et al*., 2009). Los servicios hidrológicos (SH), son aquellos ligados estrechamente con el ciclo hidrológico y representan exactamente la importancia que tiene el

agua para la gente (Porras *et al*., 2008). Los bosques, por su estructura y atributos, brindan múltiples servicios hidrológicos importantes. Entre estos SH se encuentran: la recarga de mantos acuíferos, el abastecimiento de agua, la regulación de cantidad y calidad del agua, la regulación del clima, la regulación de la erosión hídrica, y la minimización de los ciclos de inundaciones y sequías (Manson, 2004). Pero a pesar de la alta importancia de los SH, éstos están cada vez más amenazados.

En México, y especialmente en el estado de Veracruz, los recursos hídricos están siendo altamente afectados por las diversas actividades humanas, amenazando cada vez más la provisión de SH; en particular, disminuyendo la disponibilidad y la calidad del agua (Cotler *et al*., 2010). Esta degradación de SH, es resultado de la sobreexplotación de los acuíferos, del vertimiento de sustancias contaminantes que provocan la contaminación puntual de los cuerpos de agua, de la contaminación difusa del agua, de las prácticas agrícolas inadecuadas y del crecimiento de las manchas urbanas, entre otros. Esta transformación intensificada y los altos índices de crecimiento poblacional, están acelerando un proceso de deterioro pronunciado, y algunas veces irreversible de los recursos hídricos del estado. Estos problemas se irán agravando si no se toman medidas de planificación y se generan normas y leyes que permitan la protección y restauración de los ecosistemas que brindan SH. Ante este panorama, la provisión de los SH dependerá cada vez más de la existencia de la vegetación secundaria y de los sistemas agroforestales (Gallardo-Cruz *et al*., 2012). En las últimas décadas, más y más estudios han mostrado la importancia de estos sistemas agroforestales, en particular de los cafetales bajo sombra (Ricketts, 2004; Morandin y Winston, 2006). Las fincas de café bajo sombra, por su estructura compleja y su parecido con los bosques, poseen muchas ventajas sobre los monocultivos para responder a la demanda de una agricultura multifuncional: protegen la biodiversidad y además aún proveen múltiples SH (Beer *et al*., 2003; Manson *et al*., 2008). En Veracruz, la mayoría de las fincas de café tienen sombra y se sobreponen en altitud con los bosques templados y en su mayoría, con el bosque mesófilo de montaña (BMM). Los árboles en las fincas cafetaleras aportan hojarasca y residuos de las podas, los cuales cubren el suelo e influyen en el ciclo del agua, reduciendo el impacto de las gotas de lluvia, incrementando la intercepción del agua proveniente de las lluvias y de la neblina (Manson, 2004). Además, reducen el proceso de evapotranspiración y retienen agua en el suelo, reduciendo así la escorrentía superficial e

incrementando la infiltración de agua en el suelo. Esto tiene como resultado una menor erosión hídrica de los suelos, una reducción en la lixiviación de éstos y un incremento en la recarga de los mantos acuíferos (Holwerda *et al*., 2010). Por otro lado, el reemplazo de las fincas cafetaleras y de los bosques, por usos de suelo que proveen menos SH, está reduciendo en gran medida su capacidad de brindar estos servicios, provocando ciclos de inundaciones y sequías cada vez más fuertes, con graves consecuencias para las poblaciones de la zona costera (Bruijnzeel, 2001; Bubb *et al*., 2004). Por ello, el pago de incentivos económicos a los productores de café cuyas fincas proveen SH, es una nueva opción que podría mejorar la viabilidad de las comunidades del centro del estado de Veracruz y asegurar la provisión de SH. Sin embargo, hasta la fecha los programas de PSAH en México no han dirigido aportaciones a las fincas de café bajo sombra, dada la falta de datos científicos que demuestren que las fincas pueden brindar los mismos servicios hidrológicos que los bosques. Aunado a esto, la aplicación del programa de PSA en el territorio veracruzano, tiene ciertas limitaciones que reducen en gran medida su efectividad. Este programa tiene un enfoque exclusivo en la provisión de agua dentro de cuencas prioritarias, pero no identifica las zonas prioritarias dentro de las cuencas, verificando únicamente el tipo de vegetación susceptible de pago, sin tener en cuenta un análisis detallado de la cantidad de agua que podría producirse en una zona en específico, a pesar de que es un programa de Pago por Servicios Hidrológicos. Por último, no considera en su totalidad a los espacios geográficos de sistemas agroforestales de café bajo sombra como zonas susceptibles de pago por SA.

A pesar de esta problemática, casi no se realizan análisis sistemáticos que muestren el impacto que tienen los usos de suelo, la pendiente, la precipitación y el tipo del suelo sobre los procesos del ciclo hidrológico, elementos fundamentales para priorizar áreas de conservación con alta capacidad de brindar SH. Ante esta situación, resulta fundamental generar información sobre la cantidad de agua que puede producir la región cafetalera del centro de Veracruz, mostrar el potencial de los cafetales bajo sombra en la provisión de SH y delimitar zonas prioritarias donde se realiza la mayor captación de agua y recarga de mantos acuíferos. Con lo anterior se podrían considerar estas zonas dentro de los programas de PSA, de manera que las fincas de café bajo sombra puedan competir con otros usos de suelo, y así se pueda justificar su conservación. Esta consideración de los SH de los cafetales será un componente importante de la visión agroecológica (Tscharntke *et al*., 2005; Bennett y

Balvanera, 2007) del sector cafetalero, y podrá ser uno de los ámbitos más importantes para la instrumentación de programas y proyectos relacionados con la conservación de la vegetación arbórea, en particular por su importante función a nivel social, ambiental y económico. Por ello, en este capítulo proponemos un Modelo de Balance Hidrológico espacialmente explícito, como una aproximación metodológica para cuantificar la disponibilidad de agua superficial, orientado a priorizar zonas de conservación que brindan servicios hidrológicos, en la zona cafetalera del centro de Veracruz.

12.2. Generalidades del balance hidrológico

Para entender cómo circula el agua a través de las cuencas, es necesario entender los procesos del ciclo hidrológico, concepto fundamental en el estudio de los SH. El término se refiere a una serie de procesos teóricos, continuos e interdependientes que corresponde a un modelo del movimiento, distribución y circulación general del agua en la Tierra (Running y Coughlan, 1988; Aparicio *et al.*, 2006). Este concepto también abarca el movimiento y distribución del agua dentro de las masas continentales (escorrentía, infiltración, percolación, etc.), además del movimiento del agua desde la hidrósfera hacia la atmósfera (evapotranspiración), y finalmente los estados de sucesión al pasar desde la atmósfera a la superficie terrestre (precipitación) y regresar nuevamente a la hidrósfera y atmósfera (escorrentía y evapotranspiración). En la Figura 12.1 se ilustran los diferentes componentes del balance hidrológico. El uso de este modelo, permite obtener estadísticas y efectuar tanto evaluaciones como predicciones de la precipitación, escurrimiento, infiltración y evaporación (Dourojeanni *et al*., 2002). Este modelo refleja también, la variabilidad natural de los procesos físicos que impactan a los ecosistemas por el efecto del hombre a diferentes escalas, donde su estructura depende principalmente de la precipitación y temperatura de la zona de estudio.

Este modelo constituye uno de los insumos más importantes en la evaluación de la producción y disponibilidad del agua (Mills, 2000). En otras palabras, el modelo da una idea concreta de las propiedades espaciales y de la cantidad de agua superficial que hay en la zona cafetalera, y de cómo las fincas de café bajo sombra pueden fungir como posibles áreas proveedoras de SH e ingresar a los esquemas de PSA. A continuación, se ilustran de manera simple los pasos a

seguir en el desarrollo de un balance hidrológico, basado en un sistema de información geográfico (SIG) y además se identifican las zonas prioritarias en la provisión de SH.

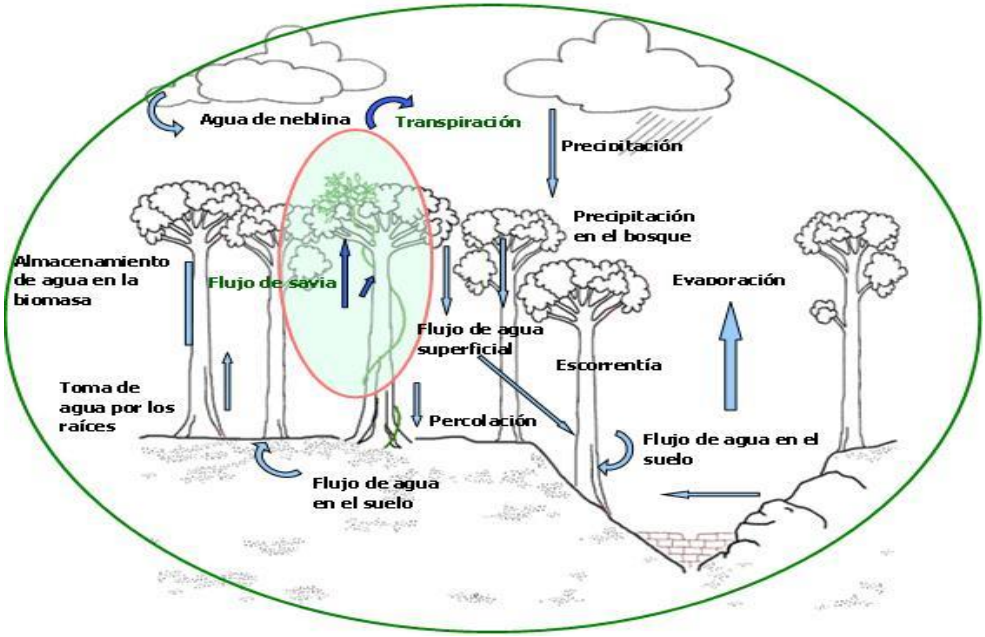


Figura 12.1. Esquema del ciclo hidrológico del agua en el ecosistema.

12.3. Descripción del modelo

Este modelo afirma que las mayores aportaciones de agua se efectúan principalmente por las precipitaciones, transformadas en escorrentías. Las pérdidas se deben esencialmente a la evapotranspiración, así como también a la infiltración del agua en el suelo. En general, del agua que cae en la región en forma de precipitación (P), una parte vuelve a la atmósfera, ya sea por evapotranspiración directa o por transpiración de la vegetación (*ETR*), otra parte escurre por la superficie (*ES*) a través de la red de drenaje hasta alcanzar los cauces principales y finalmente el mar, y el resto se infiltra incorporándose al sistema de aguas subterráneas o acuíferos (*I*).

$$P = ETR + ES + I \qquad \textbf{(Eq 12.1)}$$

La ecuación del balance hidrológico es muy simple (Eq. 12.1) pero la cuantificación de sus componentes es normalmente complicada, principalmente por la falta de mediciones directas en campo y por la variación espacial de la evapotranspiración, la recarga de acuíferos y de la infiltración del agua (Llorens, 2003). Esta fórmula es aplicada a Unidades Hidrológicas Territoriales (cuencas, subcuencas y microcuencas; *UTR*). Para cada *UTR* se determinan, clasifican y ponderan áreas que ocupan los diferentes tipos de vegetación, suelo, rocas y pendientes, así como las áreas cubiertas por los diferentes rangos de precipitación y temperatura promedio anual. El Cuadro 12.1 muestra los componentes del medio natural que intervienen en los diferentes procesos del balance.

CUADRO 12.1. COMPONENTES NATURALES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DEL BALANCE HIDROLÓGICO.

COMPONENTES NATURALES	COMPONENTES DE LA FÓRMULA DE BALANCE HIDROLÓGICO			
	CAPTACIÓN (P x área)	EVAPOTRANS-PIRACIÓN (ETR)	ESCORRENTÍA SUPERFICIAL (ES)	INFILTRACIÓN(I)
Precipitación				
Temperatura y radiación solar				
Tipos de suelo				
Tipos de rocas				
Ángulo de las pendientes				
Tipos de vegetación y usos del suelo				

De acuerdo con este modelo, en zonas con mayor cobertura boscosa, la mayor parte del agua será infiltrada en el suelo recargando los acuíferos, donde influyen el tipo de suelo y las pendientes en las que se ubican estos bosques. En cuanto a la priorización de zonas, el modelo parte del supuesto de que en zonas con mayor captación de agua será donde se concentre mayor cantidad de agua durante el año, y donde más se infiltre la misma, será que se desarrollen los suelos más profundos y serán los sitios con mayor recarga de acuíferos, siendo éstos los que mantendrán la estabilidad hidrológica.

12.4. Aplicación del modelo en la zona cafetalera del centro de Veracruz

Localización del área de estudio. La utilidad del modelo se ilustra mediante su aplicación a la región cafetalera del centro del estado de Veracruz. Ésta tiene una extensión aproximada de 11 mil km^2, y está ubicada en un sistema montañoso, entre los paralelos 18°34'88'' y 20°19'21'' de latitud norte y entre los meridianos 96°30'69'' y 97°30'27'' de longitud oeste. Con respecto a su localización administrativa, comprende 47 municipios, 19 subcuencas y 135 microcuencas. La Figura 12.2 muestra los límites de la zona de estudio; se puede apreciar una orografía muy irregular y las subcuencas comprendidas, además de los diferentes tipos de uso de suelo y cobertura vegetal. Por su ubicación, la región cuenta con una alta heterogeneidad de ecosistemas y un porcentaje importante del territorio sometido a procesos de transformación del paisaje. Para los fines de este capítulo, el área de estudio se delimitó por medio de un análisis espacial, identificando los cuerpos de agua y las microcuencas que se sobreponen en el paisaje cafetalero (Cuadro 12.2).

CUADRO 12.2. SUBCUENCAS COMPRENDIDAS EN LA ZONA DE ESTUDIO.

Sub-cuencas	Superficie (ha)	Sub-cuencas	Superficie (ha)
Acatlán	79,712	Juchique	21,116
Actopan	38,281	Papaloapan	209,000
Altotonga	86,408	Paso de Ovejas	29,784
Arroyo Hondo	34,021	Pescados	39,653
Atoyac	58,290	Santa Ana	11,428
Comapa	24,151	Santa Anita	14,850
Francisco Sarabia	13,579	Troncones	80,845
Ídolos	45,058	Xalapa	84,520
Jalcomulco	7,257	Zocoapan	29,586
Jamapa	91,476		

Primero se establecieron los puntos de acumulación principal o de salida en las redes de flujo hidrológico, para delimitar las redes de escurrimiento en las subcuentas comprendidas, haciendo uso de información cartográfica de las redes hidrológicas, cuencas y subcuentas. En cuanto a las microcuencas, se hizo uso del conjunto vectorial de microcuencas de FIRCO para los estados de Puebla y Veracruz (escala 1:250,000). El área de estudio cubre un área mayor a la del polígono establecido para el resto de estudios realizados en los diversos

capítulos, ya que se considera recomendable que un estudio de balance hidrológico incluya subcuencas completas (Cotler, 2004).

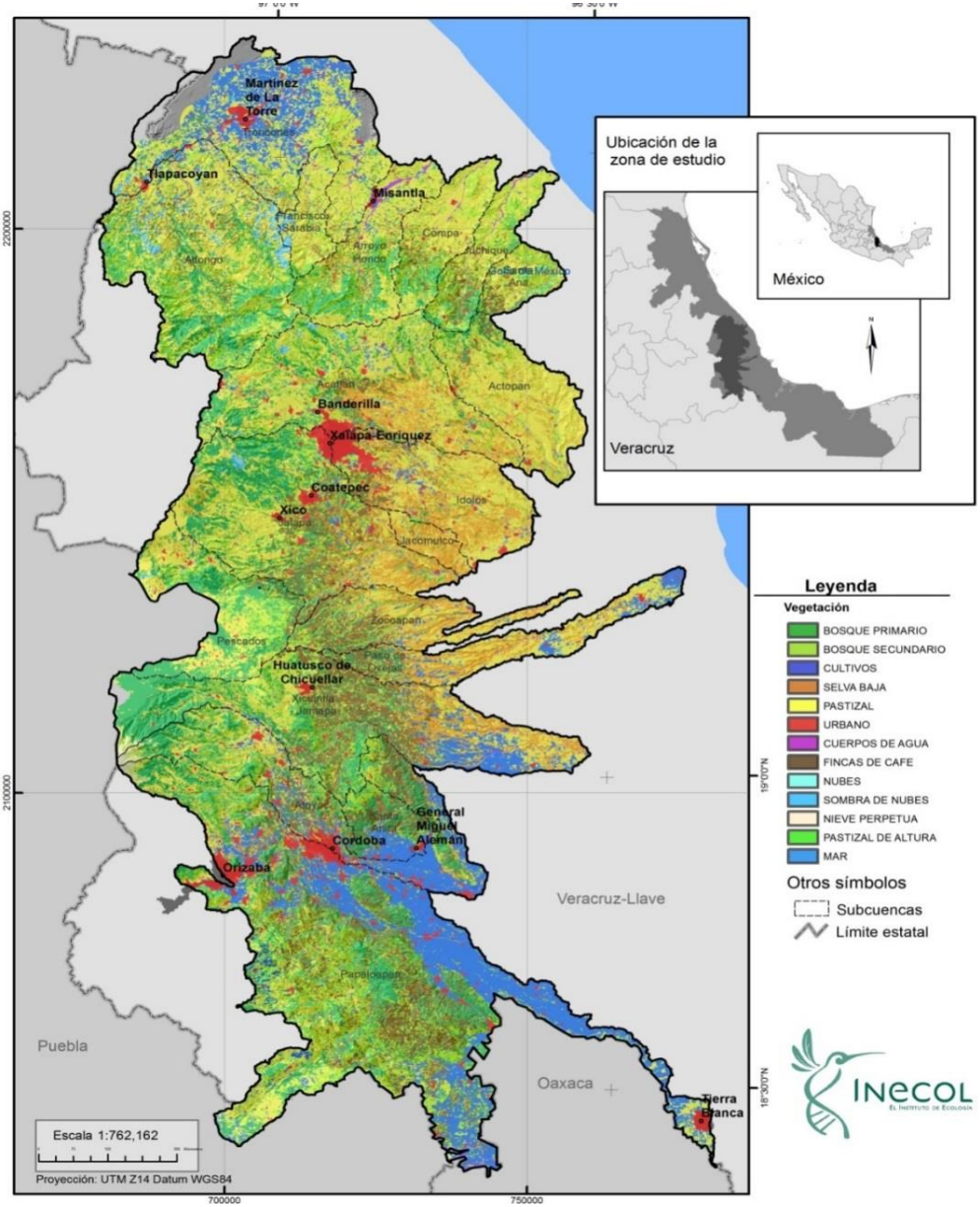


Figura 12.2. Mapa de la zona de estudio para el balance hidrológico, con las subcuencas de la Región Faja de Oro y los diferentes usos de suelo.

12.4.1. Información fuente y uso de Sistemas de Información Geográfica

Para la aplicación del modelo se generó un Sistema de Información Geográfica (SIG) y se utilizaron las siguientes bases de datos georeferenciadas en formato digital: 1. Se generó un modelo digital del terreno (MDT) de 20 m de resolución. 2. Se usaron 23 cartas topográficas de INEGI (escala 1:50,000; UTM zona 14 Norte y datum WGS83). 3. De las bases de datos de INEGI (Instituto Nacional de Geográfica e Informática) y de la CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad), se consideraron los conjuntos vectoriales de Tipos Climáticos (CONABIO), Estaciones Climáticas ERIC III (CONABIO), Edafología (CONABIO), Evapotranspiración (INEGI), isotermas e isoyetas (CONABIO), y Tipos de Suelos y Rocas (INEGI). 4. Se generó un mapa de pendientes (escala 1:50,000; UTM zona 14 Norte y datum WGS83), utilizando las curvas de nivel de las cartas topográficas de INEGI. 5. Por último, se generó un Mapa de Uso de Suelo y Cobertura de Vegetación (INECOL) de 20 m de resolución, con catorce categorías de cobertura vegetal y usos de suelo. Las clases fueron definidas como: Bosque Primario, Bosque Secundario, Cultivos Agrícolas, Selva Baja, Pastizales, Zonas Urbanas, Cuerpos de Agua, Fincas de Café, Pastizal de Altura, Suelo Desnudo, Nieve Perpetua, Nubes, Sombra de Nubes y Mar. Este mapa se realizó usando técnicas estándar de percepción remota e imágenes de satélite *SPOT* (20 m de resolución) para los años 2008 y 2010. Para la clasificación y validación se usaron 840 puntos de control y verificación, tomados en campo. Para generar la base maestra de datos, se importaron todas las bases de datos a un archivo maestro en *Excel*. Con la cobertura de subcuencas fueron cortadas todas las capas en formato digital, para conocer la superficie comprendida por cada tema en cada subcuenca y hacer los cálculos de captación bruta de agua y evapotranspiración potencial, con un modelo matemático del balance hidrológico.

Selección de estaciones climáticas. Uno de los primeros pasos fue el de la recopilación de los registros históricos de datos climáticos, para ajustar los datos de las isotermas e isoyetas, y también para los cálculos de radiación solar. Se usó la base de datos de 145 estaciones *ERIC III*, comprendidas en un buffer de 3 km alrededor de la zona de estudio y se calcularon los promedios anuales y mensuales de todos los años para los datos de precipitación, temperatura y días con neblina. Estos promedios fueron proyectados en el territorio de acuerdo a los tipos climáticos. Haciendo uso de la herramienta Geoprocessing en *ArcGis*

v10., se generaron un total de 1,200 *UTR*'s con diferentes áreas, como se muestra en la Figura 12.3. En cada una de ellas se determinaron, clasificaron y ponderaron los valores de los diferentes tipos de vegetación, suelos, rocas y pendientes, para obtener los valores de captación bruta de agua, evapotranspiración, infiltración y escorrentía superficial.

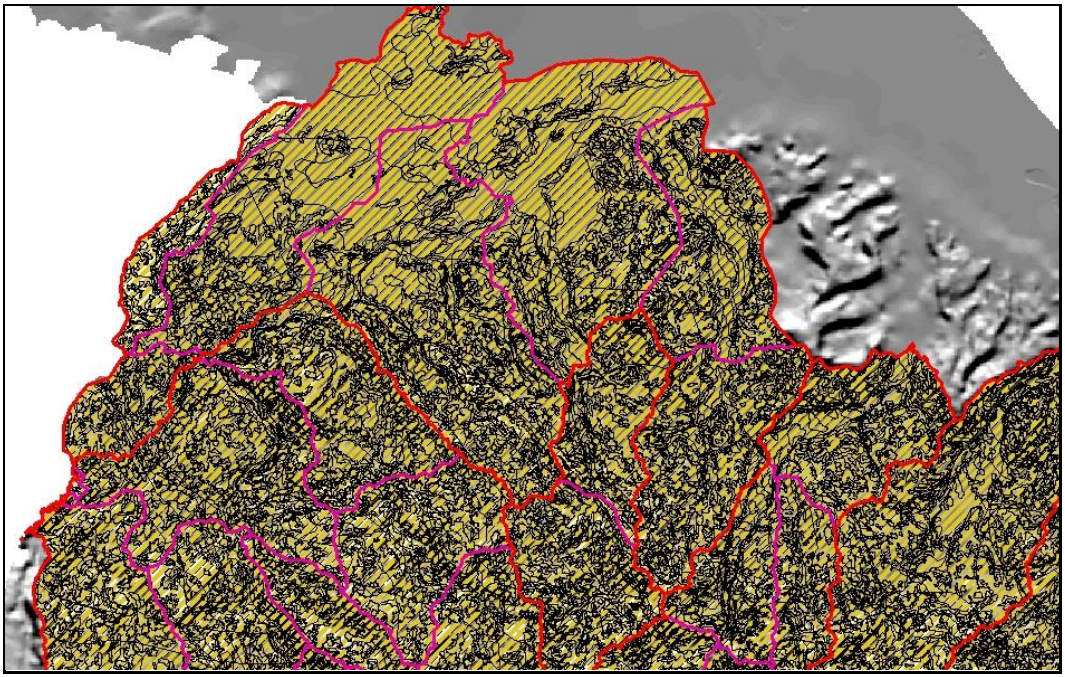


Figura 12.3. Acercamiento al Mapa de Unidades Hidrológicas Territoriales (*UTR*).

12.5. Análisis de resultados

12.5.1. Análisis y modelación de la captación bruta de agua

Este componente del modelo determina la cantidad de agua captada en la zona de estudio y resulta de multiplicar la precipitación promedio anual por la superficie de cada *UTR* (Precipitación x Unidad de área, m^3). Este término representa a la cantidad de agua de lluvia captada por unidad de área del territorio (microcuencas, subcuenca o *UTR*), dando como resultado la cantidad

de agua en m^3. Este análisis permite realizar una exploración detallada de la distribución espacial de lluvia y captación de agua.

Captación bruta total (captación + precipitación horizontal). Ésta representa a la cantidad de agua captada más la precipitación horizontal. La precipitación horizontal es el agua en forma de niebla que se condensa al entrar en contacto con la vegetación. Para el cálculo se tomaron los promedios de los datos anuales de precipitación de las estaciones, considerando características climáticas similares, ubicación y evaluación. Se construyó un mapa con los promedios anuales ajustando los datos de las bases de las estaciones con los promedios anuales, mediante el método "las normales". En el Anexo D, se muestra la variabilidad espacial de la captación bruta total de agua. Se puede observar que las mayores captaciones de agua se dan en la sierra de Zongolica en la región sur, y Misantla y Tlapacoyan en la región norte (<380 millones de m^3 anuales). Las subcuencas que presentaron la mayor parte de su territorio con valores relativos más altos en cuanto a la captación de agua fueron: Troncones, Papaloapan, Atoyac, Arroyo Hondo, Altotonga y Acatlán.

Tanto en las partes altas, como en el Parque Nacional Cofre de Perote y el Pico de Orizaba, como en las partes bajas de la zona de estudio (en las cuencas de Actopan, Jalcomulco e Ídolos) los valores de captación de agua oscilaron entre los 900 y 1,100 mm. La zona montañosa que va desde Córdoba-Huatusco hasta Xico, presentaron valores de captación de agua de 1,910 a 2,700 mm. Los municipios de Coatepec y Xalapa se ubicaron en el rango de captación de agua de los 1,360 a 1,900 mm. Para la región, los rangos de precipitación varían de los 800 a los 3,500 mm. La región en su conjunto se caracteriza por presentar altos niveles de captación bruta, ya que cerca del 50% del territorio capta entre los 2,760 a los 4,250 mm promedio anual de agua. Sólo el 10.7% de la superficie se encuentra entre los rangos de los 900 a los 1,350 mm promedio anual de agua.

12.5.2. Análisis y modelación de la evapotranspiración potencial

La evapotranspiración es la cantidad de agua que retorna a la atmósfera, tanto por transpiración de la vegetación, como por evaporación del suelo. La evapotranspiración real es un elemento importante en el balance hidrológico, pero en la actualidad no existe una metodología para evaluarla a escala de una cuenca y, por la ausencia de estaciones que midan estos parámetros en campo,

es necesario estimar el valor de la evapotranspiración potencial (*ETP*) a partir de la utilización de modelos empíricos. Para hacer el cálculo de *ETP*, el primer paso es el del cálculo de radiación solar, para ello se utilizó la fórmula simplificada de Samani (2000). La Ecuación 14.2, representa el modelo simplificado de la radiación solar.

$$R_s = R_0 (KT) (t_{max} - t_{min})^{0.5} \qquad \textbf{(Eq. 14.2)}$$

Siendo R_s, la radiación solar incidente, R_0, la radiación solar extraterrestre (mm día^{-1} tabulada en función de la latitud del área de estudio y el promedio de los meses) (de Allen *et al*., 1998), *KT*, es un coeficiente, y t_{max} y t_{min} son la temperatura diaria máxima y mínima respectivamente. Estos datos fueron obtenidos de la información histórica de las estaciones climáticas del *ERIC III*. Para el cálculo de *ETP*, se usó el modelo de Hargreaves y Samani (1985), el cual se representa con la ecuación 14.3.

$$ET_0 = 0{,}0023 (t_{med} + 17{,}78) R_0 (t_{max} - t_{min})^{0{,}5} \qquad \textbf{(Eq. 14.3)}$$

Dónde: *ET0*, es la evapotranspiración potencial diaria (mm día^{-1}) y t_{med}, es la temperatura media diaria (°C). Por último, a estos valores de evapotranspiración potencial, se restaron los valores de precipitación horizontal, para tener como resultado la *ET0* total (*ET0* – precipitación horizontal). Como resultado se obtuvo la cantidad de agua evapotranspirada en mm. Este modelo permite estimar y mapear la evapotranspiración para la zona de estudio.

De acuerdo con la metodología descrita anteriormente, el Anexo E presenta la distribución espacial de evapotranspiración para la zona de estudio, donde los valores oscilaron entre los 90 y los 180 mm anuales de agua evaporada por efectos de la radiación solar. En general, predominan rangos relativamente bajos de evapotranspiración, que van de los 100 a los 110 mm y de los 120 a los 130 mm, ocupando el 30.8 y 24.6% del territorio de la zona de estudio respectivamente. Los valores de mayor evapotranspiración (160 a 180 mm), se presentaron en las partes altas de las cuencas de Xalapa, Atoyac, Jamapa y Papaloapan (2% de la superficie), siendo éstas en el Parque Nacional Cofre de Perote y en el Pico de Orizaba. Los valores mínimos de evapotranspiración (90 mm), se presentaron principalmente en las subcuencas de Pescados y Acatlán.

12.5.3. Análisis y modelación de captación neta de agua

Una vez estimadas la cantidad de agua captada y la evapotranspiración potencial por *UTR*, se procedió al cálculo de Captación Neta de Agua. Este componente representa el volumen de agua que permanece en el territorio, una vez restada la evapotranspiración de la captación bruta. Como se observa en el Anexo F, los mayores volúmenes de Captación Neta de Agua anual se presentaron en las zonas montañosas. Los volúmenes anuales de captación neta variaron de los 780 a los 4,230 mm anuales de agua. Estos valores se localizaron en las serranías de Tlapacoyan y Zongolica, además de la vertiente oriental de las zonas montañosas de Córdoba-Orizaba-Huatusco y Xalapa, mientras que las menores captaciones se encuentran hacia las partes más altas y bajas de las subcuencas involucradas en el área de estudio.

Los volúmenes medios y altos de captación neta de agua se presentaron en más del 50% de la superficie total del área de estudio. Hay que tener en cuenta, que los valores indican que las subcuencas con mayores superficies y mayores precipitaciones son las que pueden captar un mayor volumen de agua. Los menores volúmenes de captación se presentaron en el Parque Nacional Cofre de Perote y en el Pico de Orizaba, además de las partes bajas en las cuencas de Xalapa, Jalcomulco y Paso de Ovejas.

12.5.4. Análisis y modelación de la infiltración y escorrentía superficial del agua

Infiltración. Ésta representa el volumen de agua procedente de las precipitaciones, que atraviesa la superficie del terreno y ocupa de manera total o parcial los poros del suelo y del subsuelo. Para la obtención del porcentaje de agua permeada/infiltrada, se ponderaron las diferentes variables del medio físico que influyen en la capacidad de infiltración para cada *UTR* de la zona de estudio, mediante la opinión de especialistas, ya que no se contó con mediciones de campo. Primero fue necesario valorar el grado de capacidad de infiltración de la pendiente, cobertura vegetal, tipos de suelos y rocas. Para ello, se tomó la información cartográfica del medio físico y se reclasificó en cinco clases, según el porcentaje de infiltración. Luego se determinó el peso relativo que se considera debe tener cada uno de los factores que intervienen en la infiltración, estableciéndose los siguientes valores (Cuadro 12.3):

CUADRO 12.3. VALORES DE PONDERACIÓN DE LOS FACTORES DEL MEDIO FÍSICO QUE INTERVIENEN EN LA INFILTRACIÓN DEL AGUA.

FACTOR	%
Pendientes	40
Vegetación	30
Suelos	20
Rocas	10

Con estos pesos relativos generales, el siguiente paso consistió en valorar cada parámetro por separado, ponderando de forma relativa cada variable que se presenta en el área de estudio. A continuación, se muestran las ponderaciones:

1. Ponderación de las pendientes. De todos los parámetros que intervienen en el proceso de infiltración, la inclinación de la pendiente es el factor que más influencia tiene. Se derivaron las pendientes en grados a partir del *MDT* y se caracterizaron los grupos de pendientes de acuerdo a su capacidad para infiltrar el agua (Cuadro 12.4). Se consideró que las menores pendientes son más importantes, ya que éstas tienen menor escurrimiento a diferencia de las áreas con pendientes altas, donde es mayor el escurrimiento hacia las zonas bajas de las cuencas. El Anexo G, presenta el mapa de distribución de pendientes.

CUADRO 12.4. VALORES DE CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN RECLASIFICADOS Y PONDERADOS DE DIFERENTES GRADOS DE PENDIENTE EN LA REGIÓN.

ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE	VALOR DE PONDERACIÓN	% INFILTRACIÓN
Pendientes planas (<1°)	1	90
Pendientes muy suavemente inclinadas (1° a 3°)	2	70
Pendientes suavemente inclinadas (3° a 5°)		
Pendientes ligeramente inclinadas (5° a 10°)	3	50
Pendientes ligeras a medianamente inclinadas (10° a 15°)		
Pendientes medianamente inclinadas (15° a 20°)	4	30
Pendientes fuertemente inclinadas (20° a 30°)		
Pendientes muy fuertemente inclinadas (30° a 45°)	5	10
Pendientes abruptas (>45°)		

2. Ponderación de la cobertura vegetal. Se elaboró un mapa detallado de los usos de suelo y vegetación con técnicas de percepción remota (ver Figura 12.2).

Se asignó un valor de porcentaje de infiltración a cada tipo de uso de suelo y cobertura vegetal (Cuadro 12.5).

CUADRO 12.5. VALORES DE CAPACIDAD DE INTERCEPCIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE USO DE SUELO Y COBERTURA VEGETAL DE LA REGIÓN.

TIPO DE COBERTURA	ID	% INFILTRACIÓN
Bosque primario	1	90
Bosque secundario	2	90
Selva baja caducifolia	4	90
Fincas de café	8	60
Cultivos	3	40
Pastizal	5	40
Pastizal de altura (volcánica)	12	40
Nieve	11	20
Asentamientos humanos	6	10
Cuerpos de agua	7	10
Carreteras	14	10
Nubes	9	sin dato
Sombra de nubes	10	sin dato
Mar	13	sin dato

Este proceso, es considerado de igual forma uno de los factores más importantes en la infiltración, por ejemplo, en zonas boscosas el agua es interceptada por las hojas y la hojarasca del suelo. Así, el grado de intercepción dependerá del tipo de follaje de la vegetación comprendida en la zona.

3. Ponderación de los tipos de suelo. La ponderación del grado de permeabilidad de los suelos toma en cuenta las características intrínsecas de éstos, como su origen y textura, así como su ubicación dentro de la región de estudio. Se tomó en cuenta la textura del suelo, porque ésta determina si un suelo es más o menos permeable. Los Cuadros 12.6 y 12.7 presentan la calificación y el valor de permeabilidad de los tipos de suelo. El Anexo H, presenta la distribución espacial de los diferentes tipos suelo en la región.

CUADRO 12.6. VALORES DE PONDERACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.

TIPO DE SUELO	TEXTURA	PONDERACIÓN PERMEABILIDAD
Acrisol órtico	Media	1
Andosol ócrico	Media	2
Cambisol éutrico	Media	1
Feozem lúvico	Fina	3
Litosol	Media	4
Luvisol	Media	1
Regosol calcárico	Media	4
Rendzina	Media	3
Vertisol pélico	Fina	1
Zonas urbanas		5

CUADRO 12.7. VALORES DE PERMEABILIDAD DE LOS TIPOS DE SUELO.

GRADO DE PERMEABILIDAD	% INFILTRACIÓN PONDERADO	VALOR
Permeabilidad muy baja	10	5
Permeabilidad baja	20	4
Permeabilidad media	50	3
Permeabilidad alta	70	2
Permeabilidad muy alta	90	1

4. Ponderación de los diferentes tipos de rocas. Al igual que en los suelos, la ponderación del grado de permeabilidad de los tipos de rocas toma en cuenta su origen y localización en la zona de estudio, ya que el tipo de roca permite que el agua superficial sea o no infiltrada hacia el subsuelo. El Anexo I, presenta la distribución espacial de los diferentes tipos de roca y el Cuadro 12.8, presenta el valor de permeabilidad de los tipos de roca comprendidos en la región.

Cabe señalar que la capacidad de infiltración depende de la cantidad de lluvia que puede absorber el suelo dependiendo principalmente de los usos de suelo y pendientes de la región. El Anexo J, presenta la forma en que se distribuyen los diferentes rangos estimados de infiltración promedio anual del agua, donde se observan los mayores niveles de infiltración en las laderas de las serranías de la parte media-alta de la zona de estudio, principalmente en la sierra de Zongolica, en Tlapacoyan, así como el cordón montañoso de Córdoba-Huatusco-Coatepec-Xalapa. Estos valores coinciden espacialmente con las regiones con una mayor cantidad de cobertura boscosa y mayores valores de

precipitación. De acuerdo con nuestras estimaciones, las subcuencas de Santa Anita, Pescados, Papaloapan, Xalapa, Atoyac, Altotonga y Xicuintla-Jamapa registran los valores más altos de infiltración.

CUADRO 12.8. VALORES DE PONDERACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE ROCA.

ROCA	ORIGEN	% INFILTRACIÓN
Andesita	Ígnea extrusiva	30
Toba ácida	Ígnea extrusiva	30
Lutita	Sedimentaria	30
Lutita-Arenisca	Sedimentaria	30
Brecha volcánica básica	Ígnea extrusiva	50
Brecha volcánica intermedia	Ígnea extrusiva	50
Basalto-Brecha volcánica básica	Ígnea extrusiva	50
Basalto	Ígnea extrusiva	50
Basalto-Toba básica	Ígnea extrusiva	50
Toba básica	Ígnea extrusiva	50
Toba básica-Brecha volcánica básica	Ígnea extrusiva	50
Toba intermedia	Ígnea extrusiva	50
Brecha sedimentaria	Sedimentaria	50
Caliche	Suelo	50
Arenisca-Conglomerado	Sedimentaria	50
Caliza	Sedimentaria	50
Caliza-Lutita	Sedimentaria	50
Conglomerado	Sedimentaria	50
Mármol	Metamórfica	50
Travertino	Sedimentaria	50
Aluvial	Suelo	70
Ceniza volcánica	Ígnea extrusiva	70
Vulcano clástico	Ígnea extrusiva	70
Limolita-Arenisca	Sedimentaria	70
Eólico	Suelo	90

Escorrentía superficial del agua. Este modelo representa la cantidad de agua que no se infiltra en el suelo, y, por lo tanto, escurre por las laderas. Para calcular el monto anual de agua escurrida se hizo una diferencia entre los valores de Captación Neta de agua y los valores de Infiltración del agua (Captación Neta -

Infiltración). El modelo presentó valores de promedio anual que van desde los 560 a los 3,150 mm de agua, distribuidos espacialmente como se muestra en el Anexo K, destacando por sus altos niveles de escorrentía las subcuencas de Papaloapan, Altotonga, Pescados y Atoyac, a diferencia de las subcuencas de Jalcomulco, Ídolos y Actopan, que muestran los valores más bajos de escorrentía superficial.

12.6. Identificación de zonas prioritarias en la provisión de SAH

Con los resultados obtenidos con el Modelo de Balance Hidrológico, se realizó un análisis para identificar las zonas hidrológicas más importantes en la provisión de servicios hidrológicos en la región cafetalera. El análisis consistió en un análisis espacial, utilizando los mapas de infiltración y captación neta de agua. Se partió del supuesto de que en las zonas donde haya una coincidencia espacial de mayor captación neta de agua, combinada con las mayores infiltraciones es donde se encuentran las zonas prioritarias por SAH. En estas zonas el agua de lluvia no escurre rápidamente por la superficie, sino que permanece más tiempo en la región, lo que puede ser garantía de un abastecimiento de agua. Se desarrolló una matriz de doble entrada donde se combinaron los diferentes rangos en los valores de captación neta de agua con los de infiltración. Por último, se identificaron los conjuntos de fincas de café bajo sombra que se sobreponen espacialmente con estas zonas, con el fin de saber cuáles están brindando una cantidad importante de SAH y por ende, deben ser promovidas como áreas susceptibles de pago en los esquemas regionales de PSH.

La Figura 12.4, muestra el ranqueo en importancia de las fincas de café bajo sombra; éstas fueron clasificadas en cuatro niveles de prioridad para su inclusión en los PSH activos en la región centro del estado de Veracruz. Un porcentaje importante de la superficie estudiada presentó valores con niveles de máxima prioridad en la provisión de SH, ya que el 43.24% del territorio se clasificó como de máxima y alta prioridad. La media prioridad ocupa 30.32% del área, mientras que la baja prioridad se ubica en el 26% de la región.

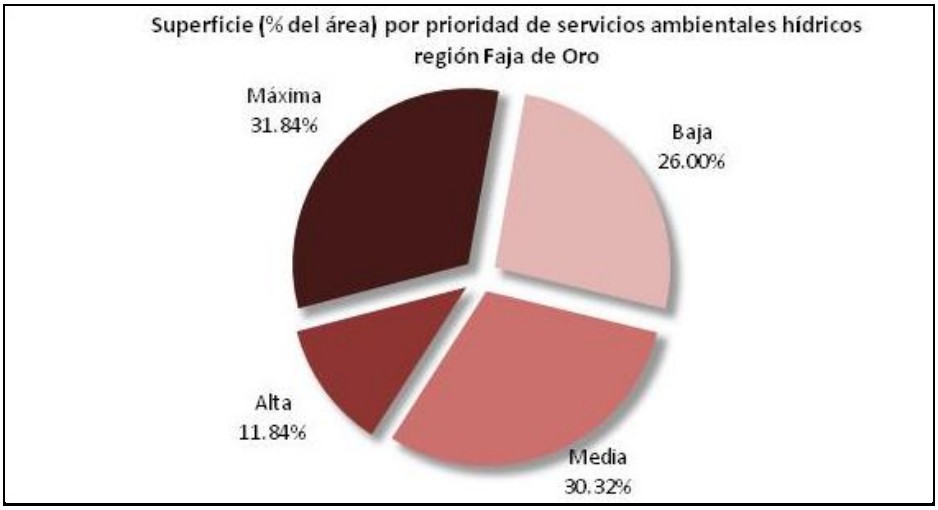


Figura 12.4. Prioridad de servicios hidrológicos en la zona de estudio.

En estas zonas destacan las subcuencas de Acatlán, Pescados, Papaloapan, Xalapa, Atoyac y Altotonga (Figura 12.5). La mayor parte del territorio de las cuecas de Jalcomulco, Ídolos y Actopan, presentó niveles bajos de prioridad por sus servicios ambientales hidrológicos. Esta información, permite utilizar criterios más amplios que los del programa federal de la CONAFOR, ya que éste sólo toma en cuenta el tipo de vegetación, pero no evalúa la cantidad y calidad de agua de la zona y su permanencia en las cuencas, a pesar de ser un pago por servicios ambientales hidrológicos.

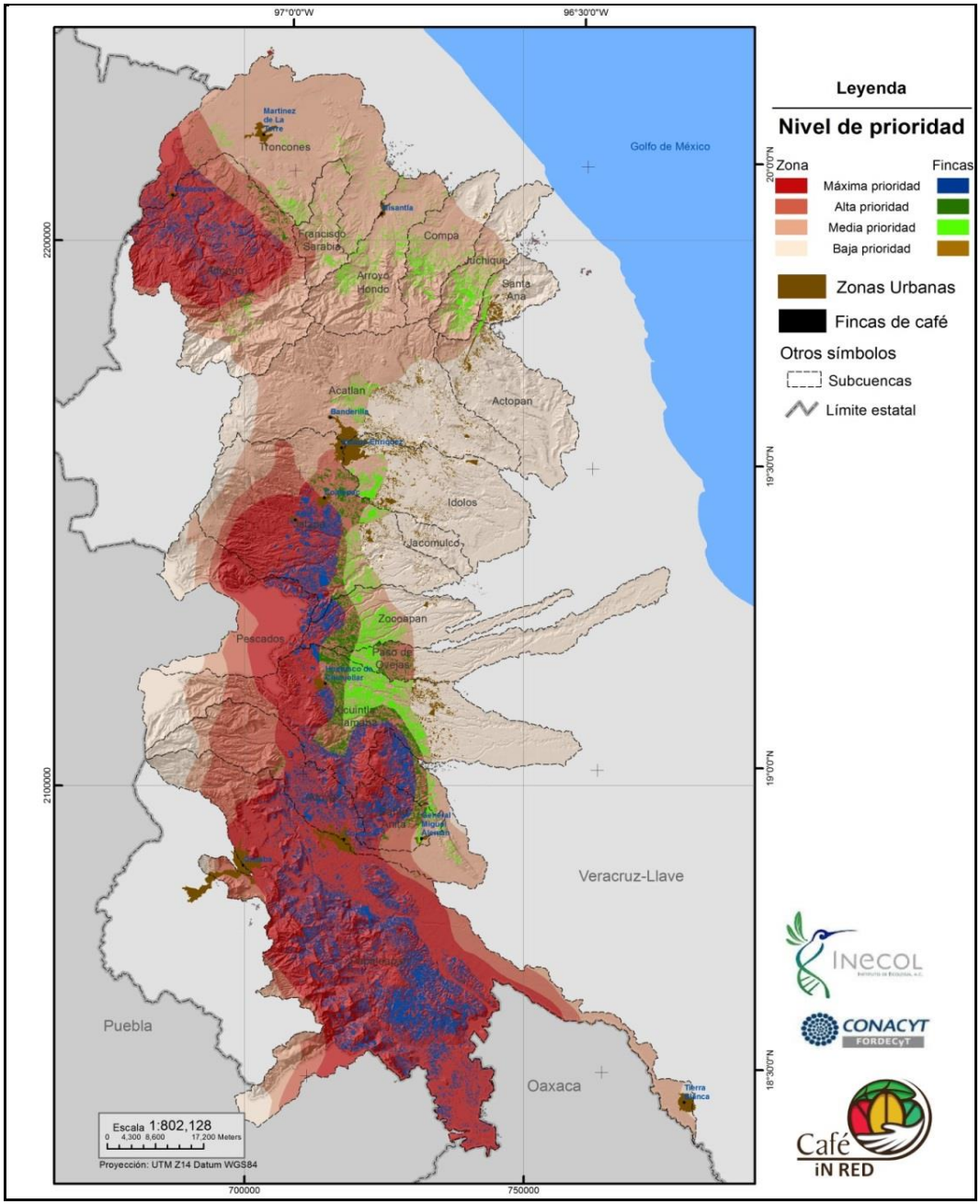


Figura 12.5. Mapa de zonas prioritarias en la provisión de servicios hidrológicos y las fincas de café que cumplen estas condiciones en el centro del estado de Veracruz.

12.7. Consideraciones finales

La metodología propuesta permitió hacer estimaciones de los diferentes componentes del balance hidrológico, además de la identificación de las zonas prioritarias para el PSH y las fincas de café bajo sombra que cumplen con estas condiciones. Con ello se proporcionó información valiosa sobre lo que sucede con el agua que es captada en la zona a través de las precipitaciones, y de cómo las características del paisaje intervienen en el manejo del agua. Hay que tomar en cuenta que la estimación de los volúmenes para cada uno de los componentes de la ecuación del balance está limitada por la cantidad y calidad de la información obtenida, ya que no se tomaron datos en campo. Este estudio contribuye con los nuevos esfuerzos por cuantificar y mapear la provisión de servicios hidrológicos, con el fin de identificar zonas prioritarias dentro de las cuencas. Estos mapas de SH permitirán el replanteamiento de políticas de conservación en la Zona Centro del Estado de Veracruz, identificando donde son más valiosos estos SH, para maximizar la aplicación de recursos económicos destinados a la conservación. La información generada en este capítulo ayudará a diversificar las fuentes de ingreso para las comunidades productoras de café, al motivar el ingreso de los productores a los programas de PSH. Existen dos posibles mecanismos de PSH en México: 1. Pagos a propietarios de tierras a través del programa nacional, y 2. Pagos a través de los programas locales de fondos concurrentes; ambos programas están operados por la CONAFOR. Ya que los cafetales bajo sombra están considerados como sistemas agrícolas, la CONAFOR está proporcionando apoyos limitados a los cafeticultores, a través del rubro de “Conservación de la biodiversidad”. Este rubro representa sólo el 20% del monto gastado para los PSH en zonas de bosques y selvas. Ante esta situación, los programas de fondos concurrentes, presentan varias ventajas para los productores de café, incluyendo: 1. Pagos más altos (hasta doble o triple) que los pagados por el programa federal, 2. La libertad de definir los criterios de selección de los predios (incluyendo cafetales) y los servicios ambientales que serán el blanco del programa, 3. Un enfoque a escala de cuenca, que en particular permite un mejor monitoreo de los avances del programa y relaciones más estrechas entre usuarios y proveedores de los SH, y 4. El diseño de nuevos tipos de compensación, por ejemplo, apoyo técnico para que los productores logren certificarse e ingresar en mercados de café con precios más altos y estables. A pesar de las ventajas antes mencionadas, el número de programas locales de PSH en la zona cafetalera del estado de Veracruz está muy limitado

hasta la fecha (Xalapa, Coatepec, Boca del Río, Los Tuxtlas-Coatzacoalcos). Por esta razón, los productores de café deben gestionar, ante sus gobiernos municipales, el fomento de los programas de PSH y la creación de nuevos programas en la zona cafetalera del estado de Veracruz, con el fin de premiar a los cafeticultores por el manejo sustentable de sus fincas y hacerlos más competitivos ante otros usos de suelo más intensivos (por ejemplo, fraccionamientos y caña de azúcar). Urgen programas públicos que puedan ayudar a detener la transformación de los cafetales bajo sombra, a otros usos de suelo. Con la pérdida de la cobertura boscosa de los cafetales, además de su reemplazo por otros usos de suelo que requieren aún más recursos hídricos, se está empeorando aún más la problemática del manejo del agua en la zona. No sólo se podría afectar la infiltración y recarga de los mantos acuíferos, sino también otros SH importantes, como la capacidad de la vegetación de filtrar a los contaminantes y mantener tanto la calidad del agua como la salud pública de las poblaciones aledañas (Mokondoko y Manson, 2011). Además, los cafetales bajo sombra proporcionan muchos otros servicios ambientales importantes como la conservación de la biodiversidad, el secuestro de carbono, la belleza escénica y el turismo (Manson *et al*., 2008). Si se valoran los servicios proporcionados por los cafetales como sociedad, se debe estar dispuesto a premiar a los dueños de los predios por un buen manejo de sus fincas, que ayude a conservar y a restaurar estos servicios. Sólo a través de la combinación de políticas públicas, que premien al buen manejo de los recursos naturales y castiguen al mal manejo o a los daños ambientales (multas), será posible lograr el manejo integrado de cuencas y de los recursos naturales.

Los resultados de este estudio presentan estimaciones de los diferentes componentes del balance hidrológico, además de la identificación de las zonas prioritarias para el PSAH y las fincas de café bajo sombra que cumplen con estas condiciones. Con ello se proporcionó información valiosa sobre lo que sucede con el agua que es captada por la Faja de Oro, a través de las precipitaciones, y de cómo las características del paisaje de la zona de estudio intervienen en el manejo del agua. Este estudio es una de las primeras iniciativas en evaluar la provisión y sinergias de múltiples servicios ecosistémicos en fincas de café bajo sombra con diferentes tipos de manejo y en diferentes tipos de uso de suelo y vegetación en la Zona Centro del Estado de Veracruz. Contribuye así a los nuevos esfuerzos por cuantificar y mapear la provisión de servicios hidrológicos, con el fin de identificar zonas prioritarias dentro de las cuencas, y mostrar la

localización de las fincas de café bajo sombra en las zonas prioritarias hidrológicas. Los mapas de servicios hidrológicos permitirán el replanteamiento de políticas de conservación en la Zona Centro del Estado de Veracruz, identificando dónde son más valiosos estos SAH, para maximizar la aplicación de recursos económicos de los programas de pago por servicios que actualmente se están aplicando en la zona. Se espera que la información mejore la comprensión de los procesos funcionales relacionados con los SAH y facilite la identificación de zonas susceptibles de pago, que tomen en cuenta los cafetales bajo sombra, mejorando las decisiones orientadas en la conservación y manejo de los recursos naturales en la región de estudio.

Literatura citada

Alix-Garcia, J. M., E. N. Shapiro and K. R. Sims. 2012. Forest conservation and slippage: Evidence from México's national payments for ecosystem services program. Land Economics 88(4):613-638.

Allen, R. G., L. S. Pereira and D. Raes. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage. Paper No. 56. http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm#Contents [consultado el 15 de octubre de 2014].

Aparicio, M. J., J. Lafragua C., A. Gutiérrez L., R. Mejia Z. y E. Aguilar G. 2006. Evaluación de los recursos hídricos. Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas. Documento Técnico No. 4. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe (PHI-LAC). Montevideo, Uruguay. 95 p.

Beer, J., C. Harvey, M. Ibrahim, J. M. Harmand, E. Somarriba y F. Jiménez. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. Agroforestería en las Américas 10(37-38):80.

Bennett, E. M. and P. Balvanera. 2007. The future of production systems in a globalized world. Frontiers in Ecology and the Environment 5(4):191-198.

Brauman, K., G. Daily, T. Duarte and H. Mooney. 2007. The nature and value of ecosystem services: An overview highlighting hydrologic services. Annual Review of Environment and Resources 32:67-98.

Bruijnzeel, L. A. 2001. Hydrology of tropical montane cloud forests: A reassessment. Land Use and Water Resources Research 1(1):1-18.

Bruijnzeel, L. A. 2004. Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? Agriculture, Ecosystems & Environment 104(1):185-228.

Bubb, P., I. May, L. Miles and J. Sayer. 2004. Cloud forest agenda. UNEP-WCMC. Cambridge, UK. 33 p.

Cotler, H. 2004. El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. Instituto Nacional de Ecología. 264 p.

Cotler, H., A. Garrido, V. Bunge y M. L. Cuevas. 2010. Las cuencas hidrográficas de México: priorización y toma de decisiones. p. 210-215. *In:* Cotler, A. H. (ed.). Las Cuencas Hidrográficas de México: Diagnóstico y Priorización. Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Mexico, D. F.

Daily, G. C. 1997. Nature´s services. Societal dependence on natural ecosystems. Island Press. USA. 392 p.

Daily, G. C., S. Polasky, J. Goldstein, P. M. Kareiva, H. A. Mooney, L. Pejchar *et al*. 2009. Ecosystem services in decision making: Time to deliver. Frontiers in Ecology and the Environment 7(1):21-28.

De Groot, R. S., M. A. Wilson and R. M. Boumans. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological Economics 41(3):393-408.

Dourojeanni, A., A. Jouravlev y G. Chávez. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. CEPAL-Serie Recursos Naturales e Infraestructura No. 47. Santiago de Chile, Chile. 83 p.

Gallardo-Cruz, J. A., J. A. Meave, E. J. González, E. E. Lebrija-Trejos, M. A. Romero-Romero, E. A. Pérez-García *et al*. 2012. Predicting tropical dry forest successional attributes from space: Is the key hidden in image texture?. PloS one 7(2):1-12.

Hargreaves, G. H. and Z. A. Samani. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture 1(2):96-99.

Holwerda, F., L. A. Bruijnzeel, L. E. Muñoz-Villers, M, Equihua and H. Asbjornsen. 2010. Rainfall and cloud water interception in mature and secondary lower montane cloud forests of central Veracruz, Mexico. Journal of Hydrology 384(1):84-96.

Llorens, P. 2003. La evaluación y modelización del balance hidrológico a escala de cuenca. Ecosistemas 2003/1 http//www.aeet.org/ecosistemas031/opinion1.htm. [consultado el 18 de agosto de 2013].

Manson, R. H. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. Madera y Bosques 10(1):3-20.

Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter. 2008. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. 330 p.

Maass, J. M., P. Balvanera, A. Castillo, G. C. Daily, H. A. Mooney, P. Ehrlich *et al*. 2005. Ecosystem services of tropical dry forests: Insights from long-term ecological and social research on the Pacific Coast of Mexico. Ecology and Society 10(1):1-23.

Mills, G. 2000. Modeling the water budget of Ireland-evapotranspiration and soil moisture. Irish Geography 33(2):99-116.

Mokondoko, P. D. y R. H. Manson. 2011. Valoración de servicios ambientales hidrológicos: caso Río La Antigua. Ciencia, Tecnologia e Innovación para el Desarrollo de Mexico 3(62):5-8.

Morandin, L. and M. Winston. 2006. Pollinators provide economic incentive to preserve natural land in agroecosystems. Agriculture, Ecosystems & Environment 116(3):289-292.

Muñoz-Piña, C., M. Rivera, A. Cisneros y H. García. 2011. Retos de la focalización del programa de pago por los servicios ambientales en México. Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros (228):87-113.

Muñoz-Piña, C., A. Guevara, J. M. Torres and J. Braña. 2008. Paying for the hydrological services of México's forests: Analysis, negotiations and results. Ecological Economics 65(4):725-736.

Porporato, A., E. Daly and I. Rodriguez-Iturbe. 2004. Soil water balance and ecosystem response to climate change. The American Naturalist 164(5):625-632.

Porras, I. T., M. Grieg-Gran and N. Neves. 2008. All that glitters: A review of payments for watershed services in developing countries. IIED. London, UK. 129 p.

Ricketts, T. 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. Conservation Biology 18(5):1262-1271.

Running, S. W. and J. C. Coughlan. 1988. A general model of forest ecosystem processes for regional applications. I. Hydrologic balance, canopy gas exchange and primary production processes. Ecological modelling 42(2):125-154.

Samani, Z. 2000. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 126(4):265-267.

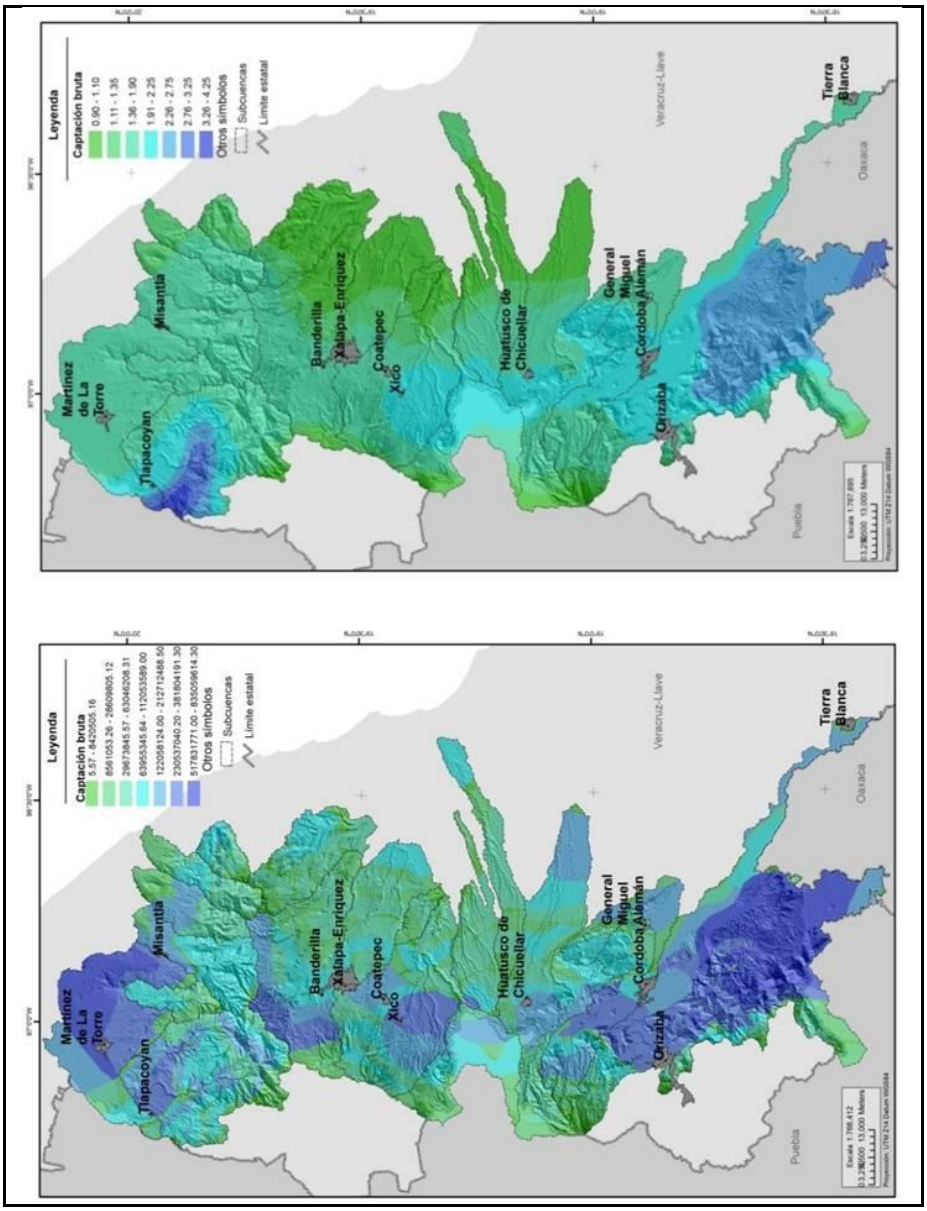
Tscharntke, T., A. M. Klein, A. Kruess, I. Steffan-Dewenter and C. Thies. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystem service management. Ecology Letters 8(8):857-874.

Turpie, J. K., C. Marais and J. N. Blignaut. 2008. The working for water programme: Evolution of a payments for ecosystem services mechanism that addresses both poverty and ecosystem service delivery in South Africa. Ecological Economics 65(4):788-798.

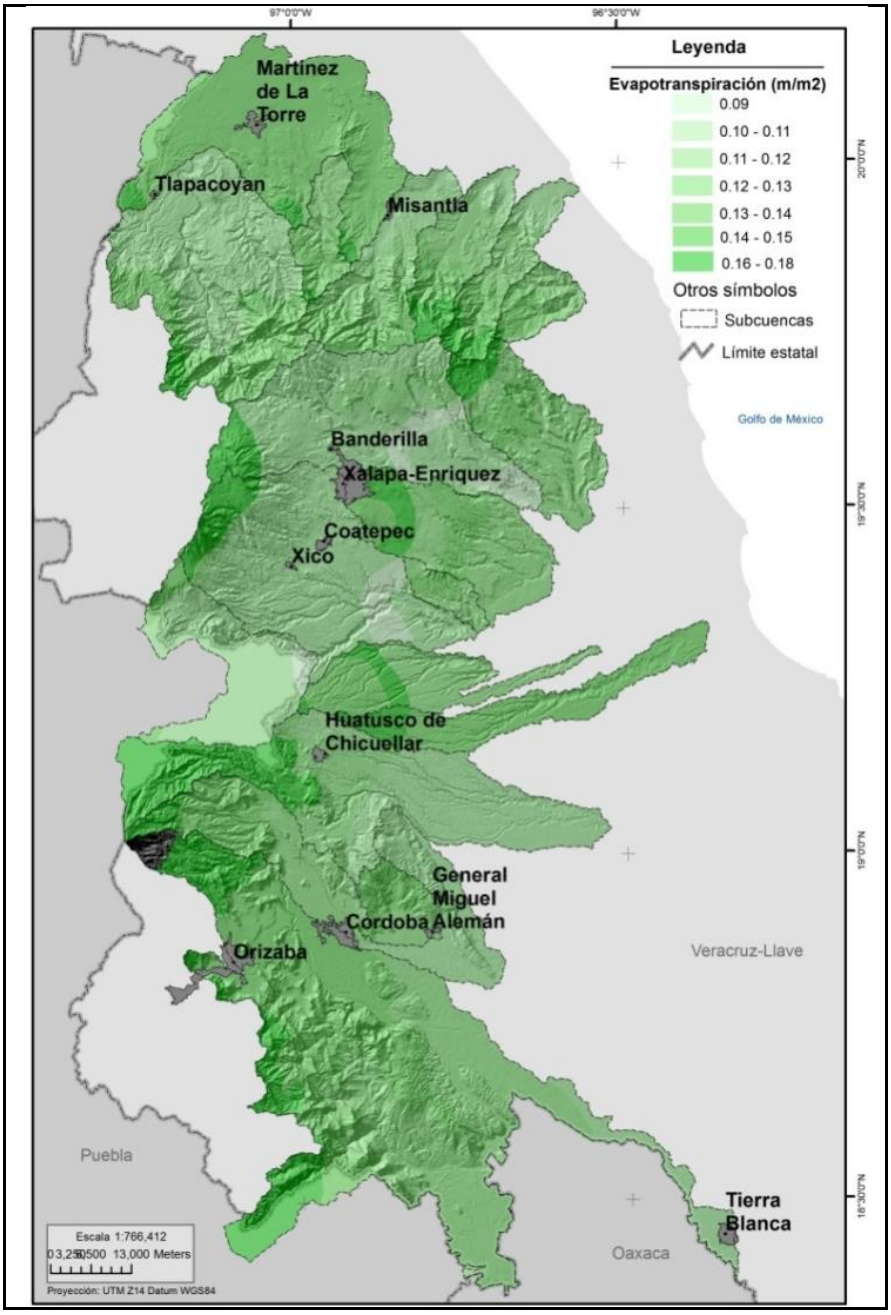
Wunder, S., S. Engel and S. Pagiola. 2008. Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. Ecological Economics 65(4):834-852.

Anexos

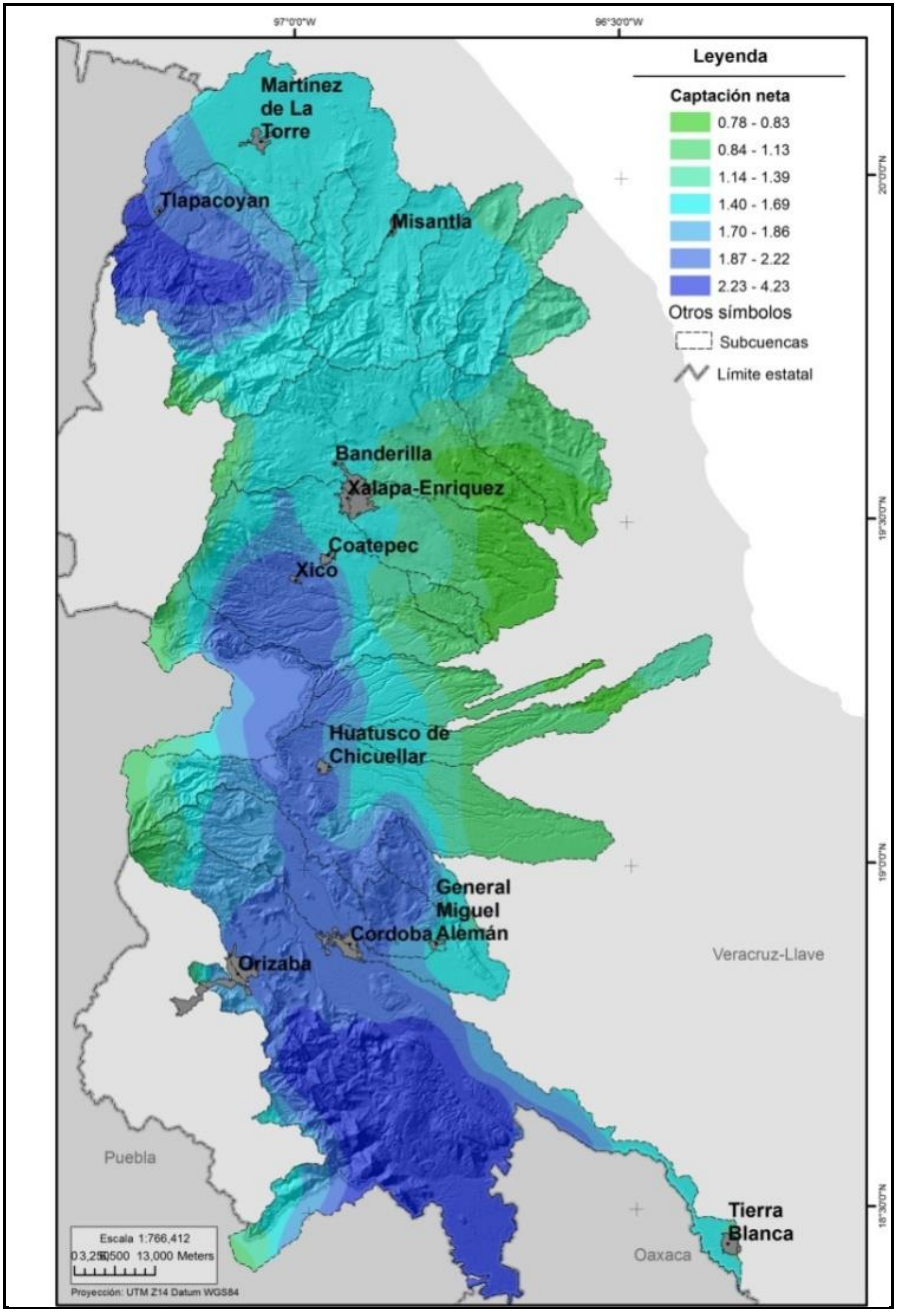
Anexo D. Mapa de captación bruta de agua en la Faja de Oro. Arriba, la distribución espacial de la captación de agua en m/m² y abajo, la captación bruta de agua por polígono en m³.



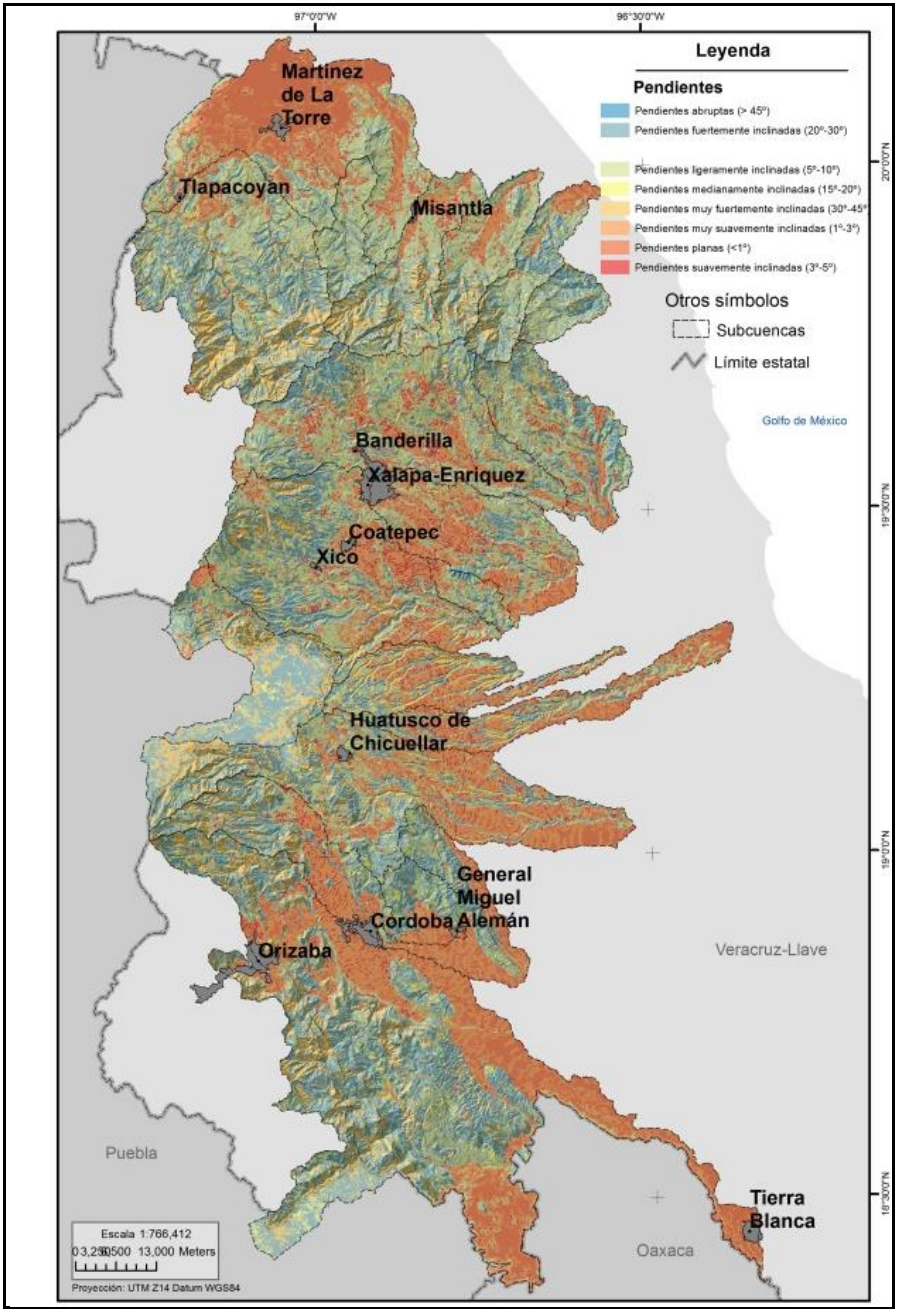
Anexo E. Mapa de evapotranspiración del agua en la Faja de Oro.



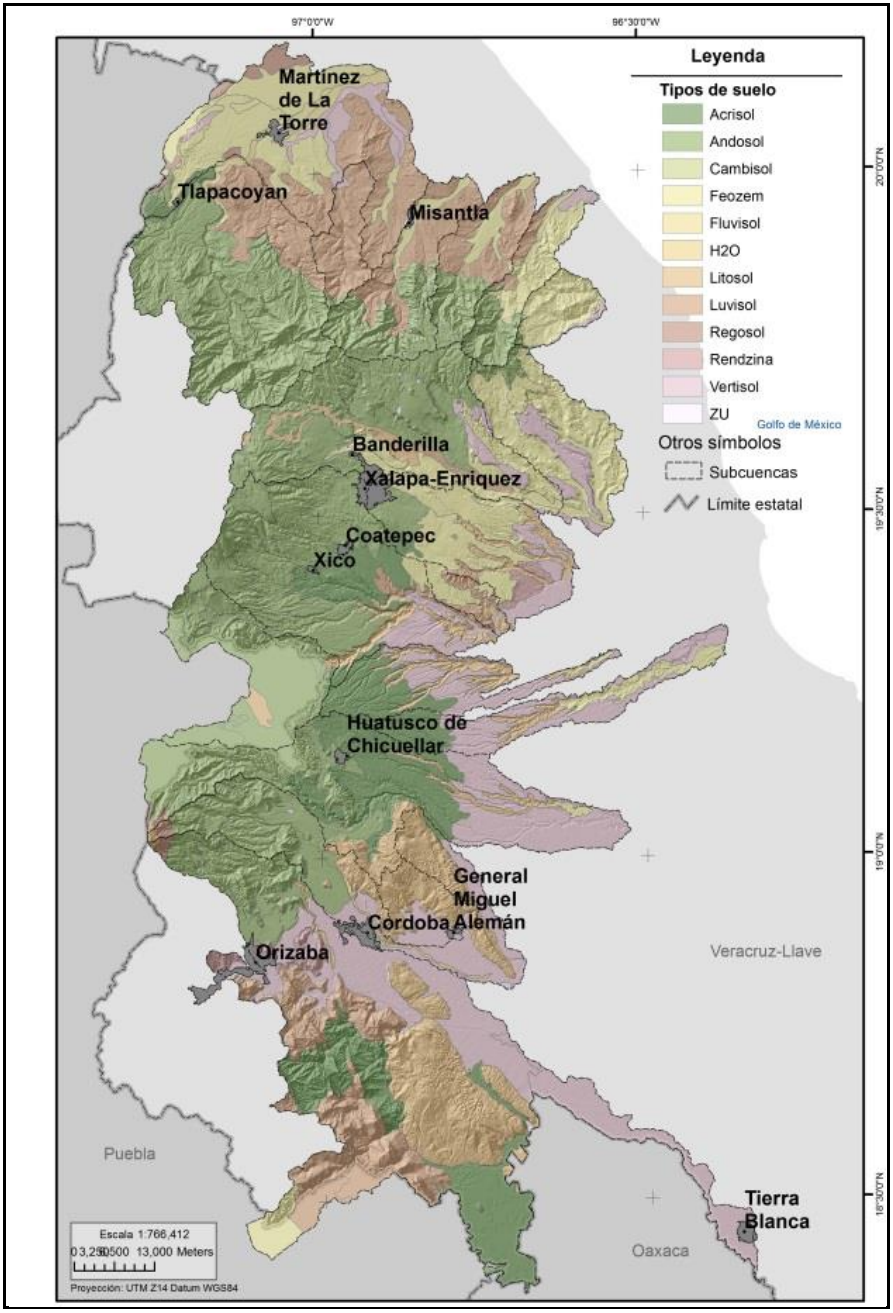
Anexo F. Mapa de captación neta de agua en la Faja de Oro.



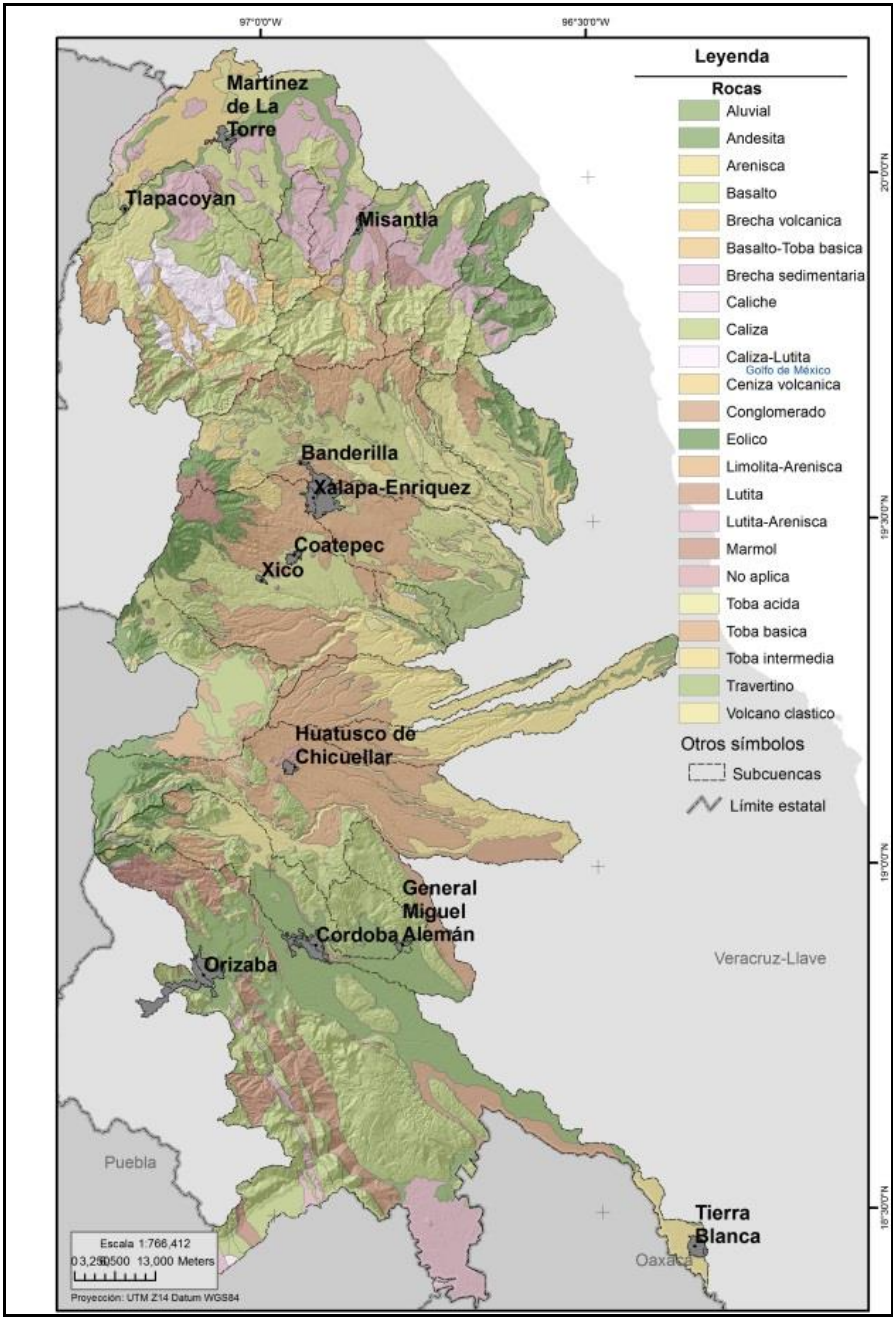
Anexo G. Mapa de pendientes de la Faja de Oro.



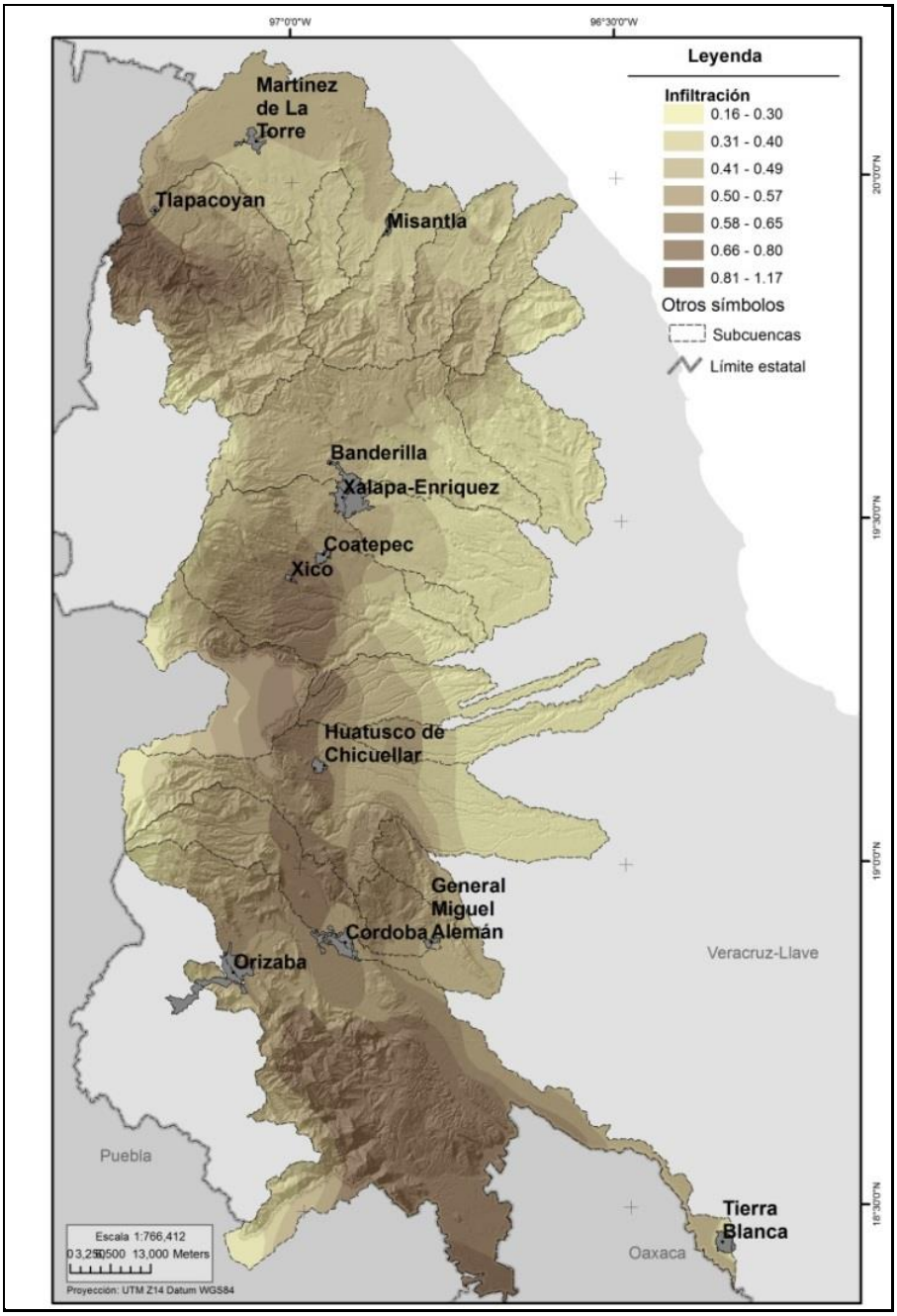
Anexo H. Mapa de tipos de suelo en la Faja de Oro.



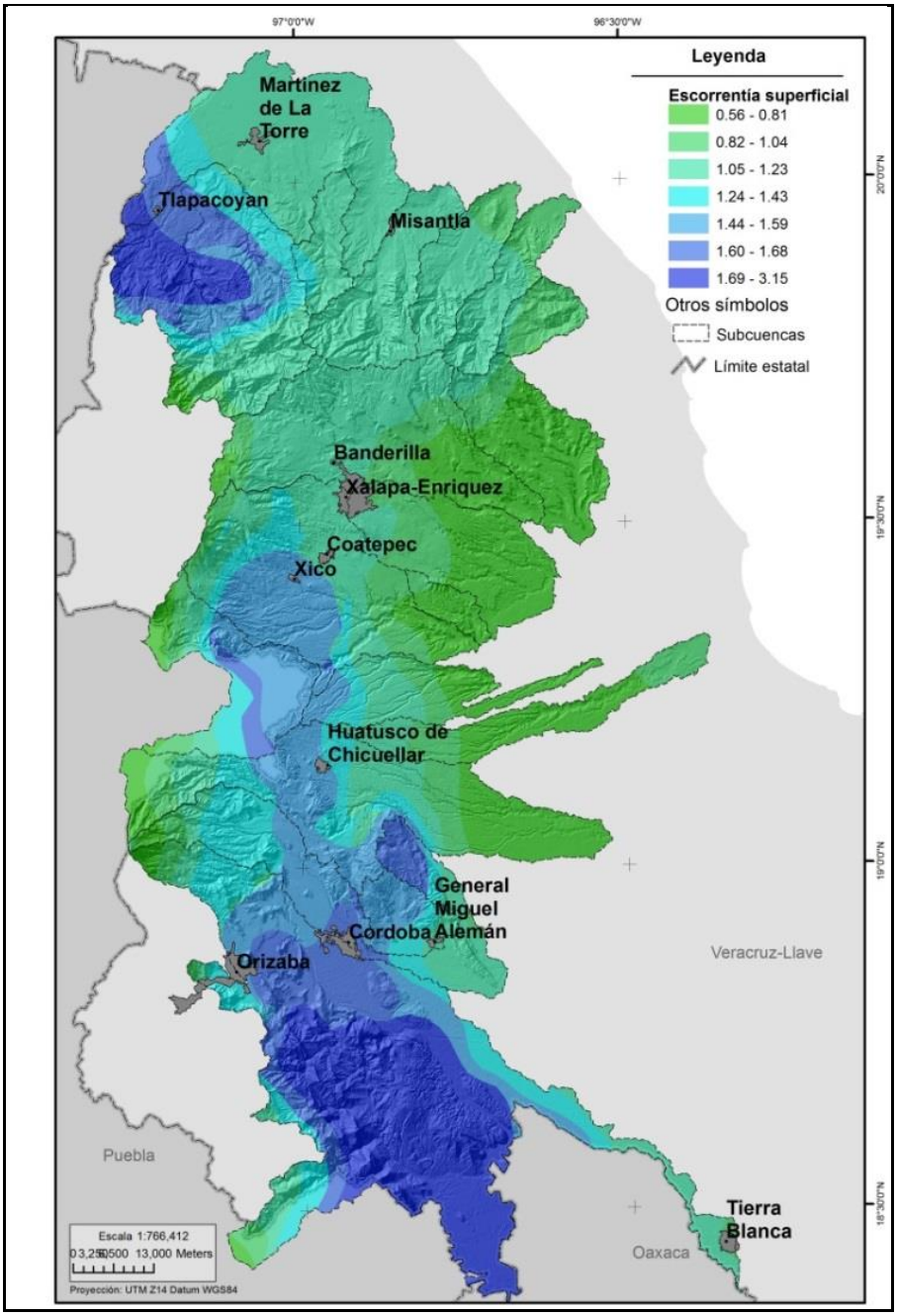
Anexo I. Mapa de tipos de roca en la Faja de Oro.



Anexo J. Mapa de infiltración de agua en la Faja de Oro.



Anexo K. Mapa de escurrimiento superficial de agua en la Faja de Oro.



XIII. Potencial de captura de carbono e impacto financiero en fincas cafetaleras de la Zona Centro del Estado de Veracruz

Martín Alfonso López Ramírez[1], Raymundo Dávalos Sotelo[2], Gustavo C. Ortiz Ceballos[3]
[1] Estudiante de Doctorado de la Universidad de Varsovia, Polonia. mlopez@wne.uw.edu.pl
[2] Investigador del Instituto de Ecología, A.C., Red de Ambiente y Sustentabilidad.
[3] Catedrático de la Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Xalapa.

13.1. Introducción

Cambio climático y captura de carbono

La excesiva emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera es reconocida como la causa principal del calentamiento global. La consecuencia más grave de este fenómeno, manifestado en el incremento de la temperatura media, es el cambio climático. Se espera que el cambio climático afecte las condiciones climáticas actuales, como los patrones térmicos y de precipitación. Las diferentes formas de vida podrían carecer de la capacidad para adaptarse a dicho cambio, lo cual pone en riesgo la riqueza genética y, por lo tanto, el futuro mismo de la humanidad (Ortiz, 2004).

Dentro de los gases de efecto invernadero, el dióxido de carbono (CO_2) parece ser el más representativo, tanto por su concentración en la atmósfera, como por su nivel de emisiones. Para ejemplificar lo anterior, basta con mencionar que la concentración del mismo pasó de 280 a 345 partes por millón en los últimos dos siglos (Jong, 2000). Del mismo modo, el 77% de las emisiones actuales de GEI corresponden a CO_2 (IPCC, 2007). De las emisiones antropogénicas, las principales fuentes son el uso de combustibles fósiles, la producción de cemento y el cambio de uso de suelo (de Jong, 2000). A nivel global, el cambio de uso de suelo, principalmente de bosques tropicales, aporta el 20% de las emisiones antropogénicas de CO_2 (IPCC, 2000; Chomitz *et al.*, 2007). Esta última fuente de emisiones se explica en gran parte por la degradación de los bosques o su conversión a pastizales o tierras de cultivo. Es debido a ello que una estrategia de manejo de bosques tiene repercusiones importantes en la regulación del ciclo de carbono (Jong, 2000).

La tasa de cambio natural entre la atmosfera y la biósfera puede ser influenciada de diversas maneras; por ejemplo, el tipo de uso del suelo, el cambio de uso del mismo y las actividades forestales tienen una importante repercusión en la tasa antes mencionada (IPCC, 2000). En este sentido, los ecosistemas boscosos y selvas han sido ampliamente reconocidas como importantes reguladores del ciclo de carbono, ya que poseen una gran capacidad para almacenar y capturar carbono (EPA, 2005). La captura de CO_2 es el proceso de incrementar el contenido de carbono en una reserva diferente a la atmósfera (IPCC, 2000). Debido a lo anterior, es importante examinar como los flujos y los sumideros de carbono cambian en función de las actividades antes mencionadas (IPCC, 2000).

De acuerdo a Chomitz *et al.* (2007), todos los bosques tienen capacidad para capturar y almacenar carbono, por lo cual, evitar la deforestación contribuye a resolver el problema del cambio climático. Se estima que la capacidad de captura de los bosques a nivel global es de 2 mil millones de toneladas de carbono (Richards y Stokes, 2004). Si se considera que las emisiones antropogénicas hoy en día son de 6 mil millones (Ford, 2009), se puede deducir que los bosques poseen la capacidad de compensar un tercio de las mismas. Otros estudios mencionan que los bosques podrían mitigar en 20 y 50% de las emisiones totales de CO_2 (Soto *et al.*, 2006).

Los bosques tropicales, en particular, tienen el mayor potencial para almacenar carbono, alrededor del 80% de la capacidad global (Chomitz *et al.,* 2007). Sin embargo, al mismo tiempo estos bosques son una fuente de neta de emisiones (Jong, 2000). De acuerdo a diversos estudios, la degradación y deforestación de los bosques tiene su origen en incentivos económicos (ver por ejemplo INE, 2012), es por ello que las tierras más valorizadas son las que presentan mayores tasas de deforestación (Chomitz *et al.,* 2007). El problema nace del hecho de que el verdadero valor de los bosques es a menudo subestimado, los servicios ambientales (externalidades positivas) que éstos proveen están fuera de los mercados, y por lo tanto, carecen de precio, razón por la cual impera la necesidad de compensar a los dueños de los predios forestales por dichos servicios (Chomitz *et al.,* 2007); de otro modo, y como lo explica la teoría económica, existe la posibilidad de un fallo de mercado en el cual la cantidad ofertada del servicio es menor al óptimo social (Pyndick y Rubenfield, 2009). Debido a lo anterior, financiar actividades de preservación de áreas boscosas tiene sentido por su potencial de captura y su bajo costo, si se compara con otras

opciones de mitigación, menos de un dólar por tonelada de CO_2, (Jong, 2000; Chomitz *et al*., 2007).

Captura de carbono en sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales combinan cultivos, pastoreo de animales y presencia de árboles bajo la misma unidad de tierra (TFF, 2008). Existen evidencias de que dichos sistemas constituyen una importante estrategia de desarrollo en zonas rurales, porque a través de ellos es posible armonizar el uso racional de los recursos naturales con la producción de cultivos y de madera (López *et al*., 2006). En el caso específico del sistema agroforestal café, se ha estudiado ampliamente el papel ecológico y ambiental que éste juega, ya que al preservar la cubierta forestal e incrementar la biomasa actúan como sumideros de carbono. Debido a ello, es posible acceder al pago de servicios ambientales (Peña *et al*., 2006).

La reforestación y la agroforestería compensan las emisiones de GEI al incrementar los sumideros de carbono o produciendo madera para fines duraderos o protegiendo el bosque natural y las reservas naturales del suelo (Soto *et al*., 2006). Estos sistemas, al igual que los bosques, tienen un potencial importante para almacenar carbono (Ortiz, 2004), principalmente en zonas tropicales, ya que los árboles en estas zonas tienen mayores tasas de crecimiento (TFF, 2008). Ortiz (2004) menciona que el potencial de estos sistemas, incluyendo el carbono en el suelo es de 228 toneladas de carbono por hectárea.

Un estudio realizado en diversas zonas cafetaleras del país, reveló que las fincas tienen entre 22 y 49 toneladas de carbono almacenadas y un potencial de secuestro anual de entre 1.6 y 2.2 toneladas de carbono al año (Peña *et al.,* 2006). Lo anterior se traduce en un secuestro de entre 50 y 77 toneladas de carbono para un periodo de 30 años (Soto *et al*., 2006). El agroecosistema café en la Zona Centro de Veracruz (ZCEV) se caracteriza por la presencia de un estrato arbóreo (López *et al*., 2013), cuya estructura es muy similar a la de la vegetación natural que sustituyeron (Manson *et al.,* 2008a), por lo cual, las funciones del bosque natural, entre ellas los servicios ambientales, se preservan casi sin alteración.
Estudios en la ZCEV determinaron que el almacén de carbono por hectárea en dichas plantaciones es de entre 28 y 72 toneladas en biomasa área,

dependiendo del arreglo forestal y los estratos que se contabilicen (Ortiz, 2004; Dávalos *et al.*, 2008). Un estudio de simulación para el distrito de Coatepec, mostró que, de continuar la tasa actual de deforestación, la capacidad de secuestro podría reducirse hasta en un 37% (López, 2012). Sin embargo, se carece de estudios que reflejen el incremento del almacén de carbono a través del tiempo; es decir, la capacidad de secuestro, a nivel de finca. Existen metodologías desarrolladas para realizar tal cuantificación, sin embargo, a la fecha también se carece de la suficiente información y recursos que permitan realizar proyecciones fiables, requisito necesario para integrar a los productores al mercado de servicios ambientales.

El presente trabajo representa un esfuerzo para cerrar dicha brecha. Utilizando los datos disponibles en la región y apoyándose en literatura relevante, se diseñó un modelo dinámico de simulación que permite proyectar la cantidad de biomasa aérea (y por lo tanto la cantidad de carbono almacenada y secuestrada) en fincas cafetaleras para un horizonte temporal de 60 años, periodo de duración de un esquema de créditos de carbono (Schelhaas *et al.*, 2004). Además, dicho horizonte temporal permite incorporar indicadores ambientales de largo plazo que reflejen la sustentabilidad del sistema (López, 2012).

La estructura del modelo es una simplificación del sector biomasa del modelo CO2FIX (Masera *et al.*, 2003; Schelhaas *et al.*, 2004), adaptada a la información disponible. Asumiendo un mercado de carbono y esquemas hipotéticos de aprovechamiento forestal, se determinó también el posible impacto financiero de una estrategia que incorpore estos componentes. Un análisis de sensibilidad permitió identificar los parámetros del modelo que deben estimarse con mayor precisión. Se concluye que, aunque modesto, el esquema de bonos de carbono y aprovechamiento forestal tendría un impacto positivo en las finanzas de los pequeños productores. En lo que respecta a los parámetros del modelo, se observó que las curvas de rendimiento y la capacidad de carga son las mayores fuentes de incertidumbre y, a pesar de la insensibilidad del modelo a los mismos, se deben realizar mayores esfuerzos para estimar estos parámetros con mayor precisión. Futuros esfuerzos pueden enfocarse a generar información que permita incorporar otras importantes reservas de carbono, como el suelo y el sotobosque (cafetos). A pesar de las limitaciones enunciadas, el modelo desarrollado aquí es un buen indicativo del potencial existente en la región para ofrecer servicios ambientales.

13.2. Materiales y métodos

Para determinar la captura de CO_2 es fundamental conocer la acumulación de biomasa a través del tiempo. Un modelo dinámico de simulación es una herramienta que, con la estructura pertinente integrada a la información adecuada, puede ser útil para proyectar o simular el comportamiento de dicha variable a través del tiempo. Debido a lo anterior, se construyó un modelo de dinámica de sistemas[1], cuya estructura se basó en las versiones dos (Masera *et al*., 2003) y tres (Schelhaas *et al*., 2004) del modelo CO2FIX y se adaptó a la información disponible. El modelo permite determinar la cantidad de biomasa en una finca cafetalera de la ZCEV en función de su manejo forestal y su condición inicial (biomasa en la finca al inicio de la simulación) para un horizonte temporal de 60 años y una superficie de una hectárea. En las siguientes secciones se explica brevemente la metodología usada para desarrollar el modelo, es decir, la dinámica de sistemas, así como la estructura del mismo.

La dinámica de sistemas

La dinámica de sistemas es una técnica de simulación basada en los conceptos de reservas (acumulaciones a través del tiempo) y flujos (incrementos o decrementos de dichas acumulaciones), la cual permite analizar el comportamiento de sistemas complejos a través del tiempo. Los sistemas complejos se caracterizan por incluir en sus estructuras retroalimentación, relaciones no lineales y retrasos (Sterman, 2000), lo cual dificulta predecir su comportamiento de manera intuitiva o mental. La metodología propuesta permite entonces capturar dichas relaciones al mismo tiempo que automatiza los cálculos requeridos, realizando de este modo, proyecciones más exactas y confiables. La idea detrás de la metodología es simple, la estructura del sistema determina su comportamiento.

Los cafetales son sistemas sumamente complejos, debido a las interacciones ecológicas, procesos sistémicos y servicios ambientales que en ellos se generan (Manson *et al.,* 2008a); lo anterior, sin incluir las relaciones económicas y sociales derivadas de los mismos. Como consecuencia de ello, el planteamiento de

[1]La metodología mencionada es una herramienta para construir modelos de simulación. El modelo de presentado aquí se desarrolló en el software iThink, versión 10.2.

soluciones para analizar y resolver su problemática requiere esfuerzos multidisciplinarios (Manson *et al.*, 2008b). La dinámica de sistemas permite, con el debido esmero, capturar esa compleja red de relaciones (en función del problema) en un modelo matemático al mismo tiempo que permite incorporar el enfoque multidisciplinario.

La metodología en sí, parte de un propósito bien definido; en este caso, determinar el potencial de captura de CO_2 de los sistemas agroforestales cafetaleros en la ZCEV y el impacto financiero de dicha estrategia. Esto último asumiendo los precios del mercado tanto de los bonos de carbono como de la madera (árboles en pie). Posteriormente, se diseña el modelo de simulación (estructura de reservas y flujos que representa el problema), éste se evalúa y, finalmente, se diseña y analiza una política (Sterman, 2000). El análisis y diseño de una política consiste en cambiar la estructura de un sistema al añadir nuevas reglas de decisión y estrategias que pudieran implementarse en el mundo real (Sterman, 2000). El presente trabajo, por lo tanto, debe entenderse como el análisis preliminar de una política; en otras palabras, el aprovechamiento forestal y el pago por servicios ambientales constituyen una posible estrategia para incrementar la rentabilidad de las fincas cafetaleras.

Estructura del modelo

El modelo de simulación se diseñó para una superficie de una hectárea y para un horizonte temporal de 60 años. Cuenta con tres subsectores: el sector biomasa, el sector de conteo de carbono y el sector financiero (finanzas en el esquema). La interrelación entre estos sectores se muestra en la Figura 13.1.

Como se puede apreciar, el sector biomasa determina la producción de dicho componente por parte del sistema, además de su aprovechamiento para fines del estudio, por aprovechamiento debe entenderse la tala de árboles. Del mismo modo, es importante aclarar que únicamente se contabilizó la biomasa del estrato arbóreo. La acumulación de biomasa, a su vez, determina la cantidad de CO_2 removido de la atmósfera por el sistema. Lo anterior es la base para determinar los bonos de carbono que puede generar el sistema, es decir, el equivalente en toneladas de CO_2 removidas de la atmósfera. Del mismo modo, el aprovechamiento y los bonos de carbono determinan el impacto financiero

derivado de la política de aprovechamiento. En los siguientes apartados se describe a detalle cada uno de dichos subsectores.

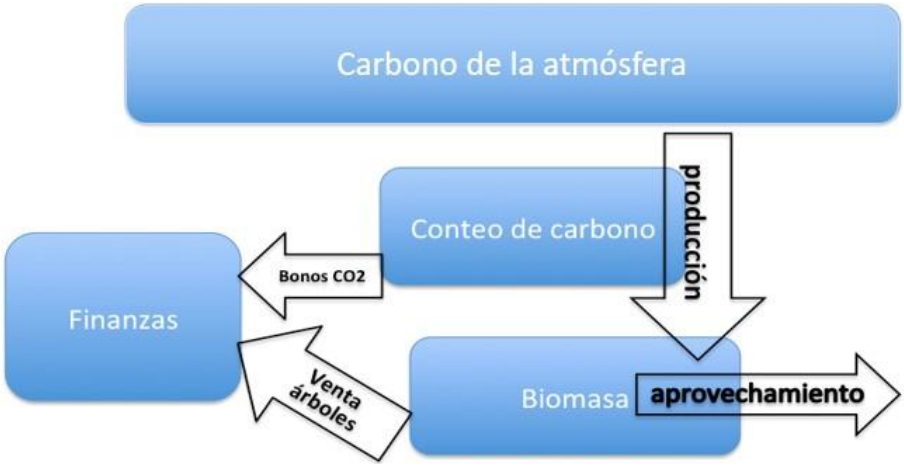


Figura 13.1. Esquema conceptual de modelo de captura de carbono, adaptado de Sáchelas *et al.* (2004).

Biomasa

El objetivo de este sector, como se mencionó antes, es contabilizar la producción de biomasa, así como su aprovechamiento, de modo que para cada instante de la simulación es posible conocer la cantidad de biomasa en el sistema. Lo anterior es de suma importancia, ya que la biomasa determina la cantidad de carbono almacenado. Un esquema de dicho sector puede apreciarse en la Figura 2, el cual se ha incluido como apoyo al lector con el fin de facilitar la lectura de esta sección.

En la Figura 13.2 los rectángulos representan las reservas y las flechas los flujos. Conceptualmente las reservas muestran el estado del sistema y los flujos los cambios en dicho estado. Debido a lo anterior, las reservas se miden normalmente en unidades y los flujos en unidades/tiempo. Por ejemplo, la reserva árboles se mide en número de individuos y representa el número de individuos en cada momento, mientras que sus flujos se miden en individuos por año, y representa el aumento, debido a la siembra, o decremento, debido a muerte o tala de la reserva.

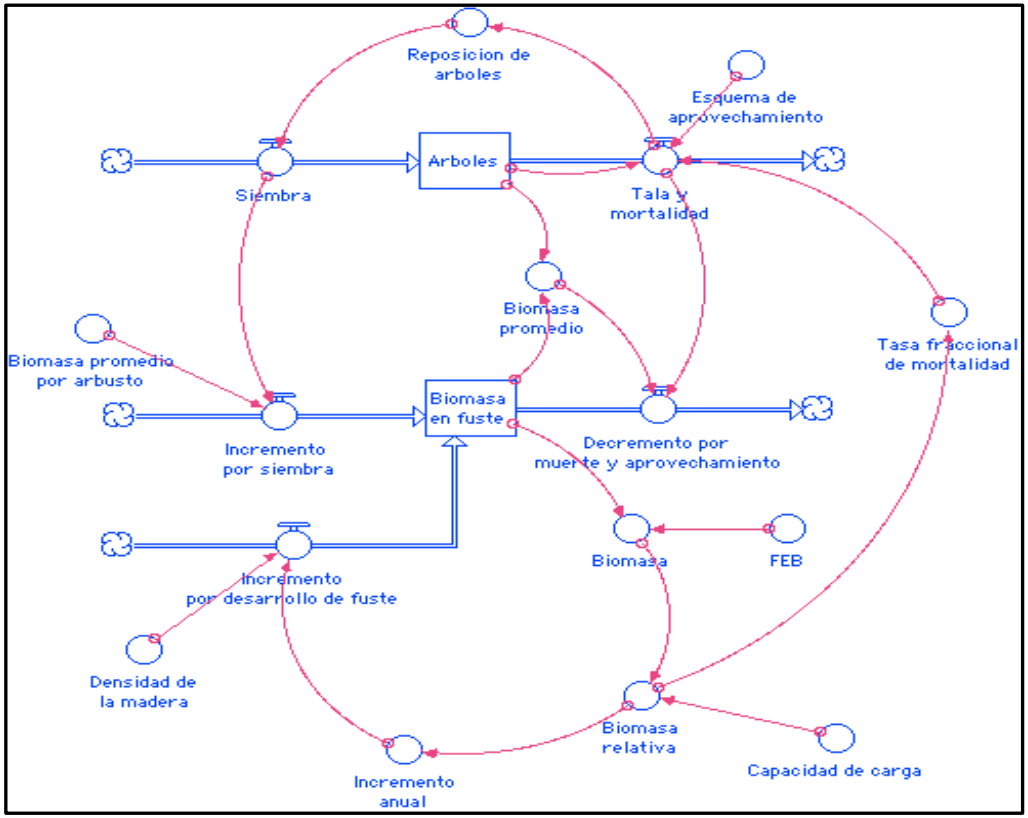


Figura 13.2. Esquema del sector producción de biomasa.

Para representar la dinámica de la biomasa se utilizó una estructura conocida como co-flujo con flujos conservados (*incremento por siembra* y *decremento por muerte o aprovechamiento*) y no conservados (*incremento por desarrollo de fuste*). Un co-flujo es una estructura que permite modelar diversos atributos o características, en este caso la cantidad de biomasa de un componente principal (Sterman, 2000), que son los árboles. Cuando los cambios en el atributo se deben únicamente al cambio en el componente principal, se dice que dichos flujos son conservados (Sterman, 2000). Tal es el caso de los flujos *incremento por siembra* y *decremento por muerte y aprovechamiento,* éstos sólo cambian si existen cambios en la reserva *árboles*, es decir, si se siembran más árboles o éstos se talan. Un flujo no conservado se caracteriza por que puede cambiar al atributo sin que existan cambios en el componente principal (Sterman, 2000).

Tal es el caso de *incremento por desarrollo del fuste*. Dicho flujo aumenta la cantidad de biomasa debido al proceso natural de crecimiento de un árbol.

A continuación, se detalla la dinámica de cada uno de estos flujos y sus interacciones con los demás. Lo anterior se hace siguiendo el orden utilizado hasta este punto; es decir, primero se explican las reservas, posteriormente los flujos conservados y finalmente los flujos no conservados.

Reservas. Las reservas (*árboles* y *biomasa en fuste)* requieren especificar su valor inicial, es decir, cuantos árboles hay en la finca y cuánta biomasa, medida en toneladas, contienen éstos en su fuste. El valor inicial depende del escenario que se quiere analizar. En el desarrollo escenarios, presentado en el siguiente apartado, se especifican los valores utilizados para cada uno de ellos. La *biomasa promedio* depende de los valores de las reservas y sus cambios posteriores y se especifica del modo siguiente:

$$\text{Biomasa promedio} = \text{biomasa en fuste/árboles}$$
$$\text{t árbol}^{-1} = \text{t árbol}^{-1}$$

Las reservas o biomasa cambian a través de sus flujos; por ejemplo, en el caso de los árboles éstas aumentan por *siembra* y desarrollo del fuste y decrecen por *tala y muerte*.

Flujos conservados. La siembra es igual a la reposición de árboles, la cual es simplemente igual a la tala rezagada un año, es decir, se sigue la simple regla de que cada árbol aprovechado tiene que ser remplazado (obviamente el reemplazo se hace después de cierto tiempo); se especificó un año en este modelo. La siembra incrementa la biomasa del sistema en función de la biomasa promedio contenida en los arbustos, como se especifica a continuación:

$$\text{Incremento por siembra} = \text{biomasa promedio por arbusto}*\text{siembra}$$
$$\text{t año}^{-1} = \text{t árbol}^{-1}*\text{árboles año}^{-1}$$

El flujo *tala y muerte* es simplemente la suma de estos dos componentes y determina el *decremento en biomasa por muerte y aprovechamiento*; cada árbol que se tala o muere toma del sistema toda la biomasa que éste contiene; por lo tanto, este último flujo se determina con la siguiente ecuación:

Decremento por muerte y aprovechamiento = tala y muerte*biomasa promedio

$t\ año^{-1} = árboles\ año^{-1} * t\ árbol^{-1}$

La tala se determina por el esquema de aprovechamiento, el cual usa la siguiente función:

Tala = pulse (fracción, año comienzo, turno)

La función pulse determina la fracción de árboles a aprovecharse y el momento en que esto se realizará; para especificar lo anterior se debe indicar el año en que se hará el primer aprovechamiento, así como la duración del turno, es decir, la frecuencia con la que se realizará la cosecha de árboles posterior al inicio. El esquema de aprovechamiento se especifica para cada escenario.

La mortalidad de árboles se determina por la siguiente ecuación:

Mortalidad = árboles*tasa fraccional de mortalidad

$Arboles\ año^{-1} = árboles*1\ año^{-1}$

Donde la *tasa fraccional de mortalidad* es una variable dependiente de la *biomasa relativa,* el cálculo de la biomasa relativa se detalla en la siguiente sección (flujos no conservados), lo que es importante saber ahora, es que a mayor biomasa relativa mayor es la tasa fraccional de mortalidad. Al no contar con datos sobre este fenómeno en la región, la tasa fraccional de mortalidad se asumió como se especifica en el Cuadro 13.1.

CUADRO 13.1. MORTALIDAD EN FUNCIÓN DE LA BIOMASA RELATIVA.

BIOMASA RELATIVA (%)	TASA FRACCIONAL DE MORTALIDAD (%)
0	1
20	1
40	2
60	2
80	3
100	10

Flujos no conservados. Como se mencionó anteriormente, el flujo *incremento por desarrollo del fuste*, es un flujo no conservado y representa el crecimiento del fuste del árbol. De acuerdo a algunos autores (Masera *et al.*, 2003; Schelhaas *et al.*, 2004), dicho proceso puede ser modelado en función de un índice de

biomasa relativa, el cual se define por la cantidad de biomasa en el sistema y su capacidad de carga. Para el caso específico, la capacidad de carga fue definida en 241 toneladas por hectárea (Schelhaas *et al.*, 2004), valor promedio para bosques tropicales. La biomasa en el sistema se definió por la *biomasa en el fuste* multiplicada por un factor de expansión de la biomasa (FEB); lo anterior para incluir los demás componentes de árbol, es decir, ramas y hojas. El valor FEB se tomó de Dávalos *et al.* (2008) y corresponde al valor de 2.1. El incremento anual idealmente se debería definir como una función dependiente de la edad o de la biomasa relativa (Masera *et al.*, 2003; Schelhaas *et al.*, 2004). De las observaciones de campo se dedujo que en promedio la biomasa se incrementa en 8 m^3/año, lo que corresponde alrededor de 4 m^3 en el fuste. De acuerdo a los autores del modelo CO2FIX, ese ritmo de crecimiento decrece conforme se incrementa la biomasa relativa hasta que es casi nulo. De este modo, la función de incremento se definió como se especifica en el Cuadro 13.2.

El análisis de sensibilidad también permitirá saber si la función debe ser definida con mayor precisión. El incremento en biomasa se define entonces por la siguiente ecuación:

Incremento por desarrollo del fuste = incremento anual del fuste*densidad de madera

$$t\ año^{-1} = m^3\ año^{-1} * t\ m^{-3}$$

Donde la densidad de la madera fue tomada de Dávalos *et al.* (2008) y tiene un valor de 0.5 t m^{-3}.

CUADRO 13.2. INCREMENTO DE VOLUMEN EN EL FUSTE EN FUNCIÓN DE LA BIOMASA RELATIVA.

BIOMASA RELATIVA (%)	INCREMENTO ANUAL (m^3 $año^{-1}$)
0[2]	0
20	4
40	4
60	4
80	1
100	0.01

[2] El valor (0,0) es para especificar una función robusta, un valor positivo en el origen incrementaría el volumen de biomasa sin que existan árboles en el sistema, una situación ilógica.

Conteo de carbono

El objetivo de este sector es contabilizar el carbono almacenado y secuestrado. Debe entenderse que el carbono almacenado es la cantidad de dicho componente contenido en la biomasa, y el carbono secuestrado es la medida del flujo dinámico del crecimiento anual en la biomasa (Dávalos *et al*., 2008). Para determinar el carbono almacenado, simplemente se debe multiplicar la cantidad de biomasa por la fracción de carbono, especificada en 0.5 (Dávalos *et al*., 2008). Es decir, la mitad de biomasa corresponde a dicho elemento. De la misma manera, para contabilizar el carbono secuestrado se utilizó el llamado *stock change approach*[3] (Schelhaas *et al.,* 2004), en el cual carbono secuestrado es igual a

$$C_{sec}=C_t-C_{t-1}$$

Es decir, el carbono secuestrado es igual al incremento en la reserva de carbono en relación al año anterior. Posteriormente, para convertir dicho secuestro de carbono a créditos de carbono, éste se debe transformar a su equivalente en CO_2, de modo que sea compatible con el concepto de emisiones evitadas. Para dicho propósito sólo basta con multiplicar el secuestro de carbono por su peso molecular, 44/12 (Schelhaas *et al*., 2004).

Finanzas

El objetivo de este sector es determinar el impacto financiero por las emisiones evitadas de CO_2 y la producción de madera. Para lo anterior se han seleccionado los ingresos promedio extra como indicador financiero. Dicho indicador se define como:

Ingreso promedio extra = (ingresos árboles + ingresos bonos de carbono) /no. de periodos

Pesos año^{-1} = pesos años^{-1}

Donde los ingresos, tanto de árboles como de bonos de carbono, fueron determinados como la sumatoria de los mismos a través del periodo de simulación.

[3]Existen diferentes métodos de contabilizar el carbono, se utilizó el antes mencionado por ser el más simple y el recomendado para proyectos que caen fuera del mecanismo de desarrollo limpio. Debe considerarse que, dependiendo del proyecto al que se desee acceder es la metodología que se debe usar para la contabilización de carbono.

13.3. Análisis de escenarios

Como se mencionó anteriormente, la pregunta que se aborda en este trabajo es establecer la capacidad de captura de carbono de las fincas cafetaleras de la ZCEV y su impacto financiero, asumiendo precio de mercado tanto de madera como de bonos de carbono. A continuación, se analizan dos situaciones: el potencial de la finca promedio de la zona, así como el potencial de fincas nuevas, es decir, un escenario de aforestación.

Fincas establecidas

Para establecer la captura de carbono en una finca promedio de la ZCEV, se deben establecer los valores iniciales las reservas árboles y biomasa. En un primer escenario se simula el potencial de captura sin aprovechamiento forestal y, posteriormente, se analiza el potencial con aprovechamiento forestal. El precio asumido por tonelada secuestrada de CO_2 en las simulaciones es de US $5.00, con un tipo de cambio de $13.00. La finca promedio en la ZCEV tiene 193 árboles (Williams-Linera y López-Gómez, 2008). De acuerdo a los datos de campo, la biomasa promedio en una finca de café es 118.3 $m^3 ha^{-1}$, lo que equivale a unas 60 toneladas de biomasa. Dado el FEB, 28.5 toneladas de esa biomasa están contenidas en el fuste, el valor inicial de la reserva. La Figura 13.3 muestra el comportamiento esperado de la reserva de carbono a lo largo de la simulación dadas las condiciones especificadas anteriormente.

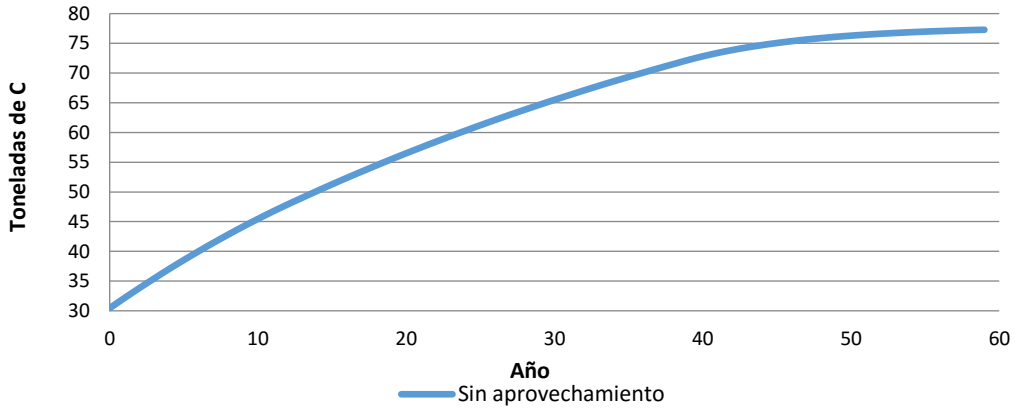


Figura 13.3. Potencial de almacenamiento de carbono de una finca promedio en la ZCEV.

Como se puede observar, el almacén de carbono se incrementa en un 156% durante el periodo analizado, al pasar de 30 a 77 toneladas de C. Lo anterior equivale secuestrar, en promedio, 2.86 toneladas de CO_2, es decir, 172 toneladas para todo el periodo. Dicho secuestro, se traduciría en ingresos extra por concepto de captura de carbono de $372.00 al año.

Dentro de los mercados de bonos de carbono, la producción de madera a través del aprovechamiento forestal es vista como una opción para incrementar los ingresos de los productores; entonces, cabe preguntarse cuál sería el efecto de dicha práctica aunada a los bonos de carbono dentro de la finca. Para lo anterior se simuló un aprovechamiento forestal en el cual se extrae el 10% de los árboles cada 15 años a partir del año 10. Los precios de los bonos de carbono son iguales y el precio del árbol en pie se estimó en $300.00; esto último basado en precios publicados por la CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), en el trimestre abril-junio de 2013 y el promedio de biomasa en el fuste. Los resultados comparados con el escenario anterior se muestran en la Figura 13.4.

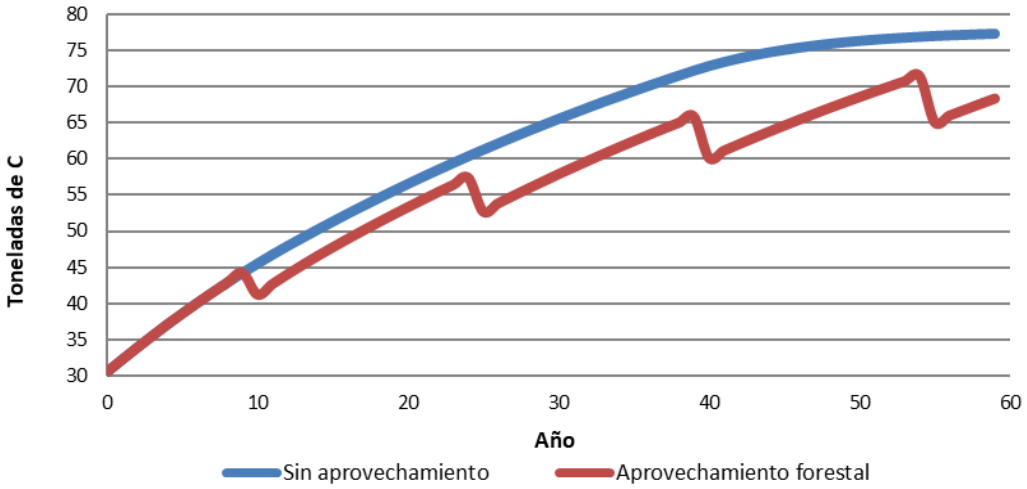


Figura 13.4. Comparación de esquemas de aprovechamiento.

Como lo revela la gráfica, el almacén de carbono se incrementa hasta 70 toneladas al final del periodo, aunque a un ritmo más lento si se compara con el escenario anterior, lo cual se explica por la extracción de biomasa del sistema. No obstante, el secuestro de carbono es mayor en términos absolutos y

promedio. Se secuestra 23% más CO_2, es decir, 212 toneladas, un promedio de 3.54 toneladas al año. Los ingresos extras generados por madera y bonos de carbono en este esquema son de $838.00.

Aforestación

En el apartado anterior se analizó el potencial de carbono de una finca promedio en la ZCEV. Es importante examinar también cual sería el efecto tanto en la captura y almacén de carbono en un escenario de aforestación, es decir, que una hectárea antes dedicada a otro uso sea ahora cultivada con café bajo sombra. Para simular el escenario de aforestación se asumió la implementación de un sistema agroforestal-café basado en las recomendaciones de López *et al*. (2013), en el cual se especifica una densidad de 133 árboles por hectárea, la biomasa inicial se fijó en una tonelada y el precio de bonos de carbono se mantuvo en US $5.00. La Figura 13.5 muestra el comportamiento de la reserva de carbono bajo dichas circunstancias.

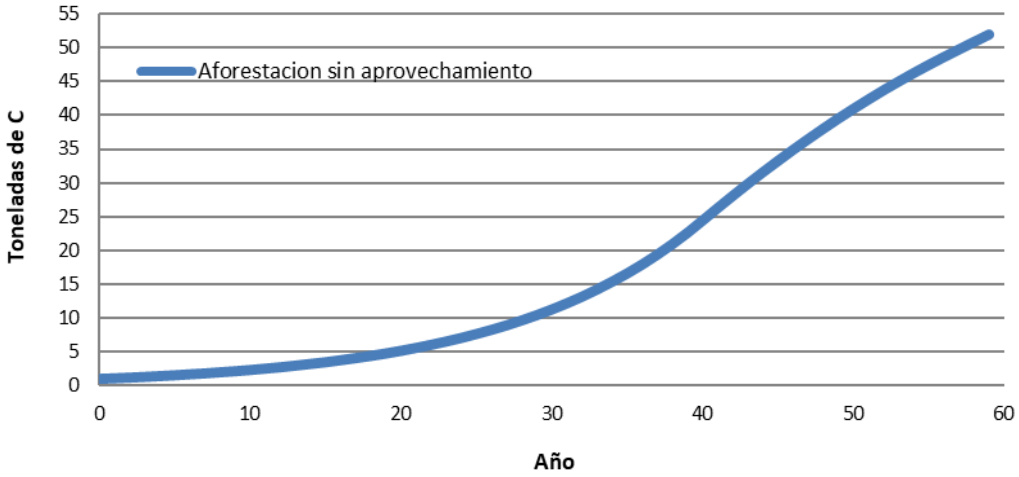


Figura 13.5. Escenario de aforestación sin aprovechamiento.

Bajo estas condiciones, el almacén de carbono se incrementaría en 52 toneladas durante el periodo analizado, lo cual equivale a un secuestro neto de CO_2 de 188 toneladas, es decir, un promedio de 3.13 toneladas anuales. Los ingresos generados por bonos de carbono bajo este esquema son de $407.00 anuales,

ligeramente mayores que en la finca promedio (sin aprovechamiento forestal), lo cual se explica por una mayor captura.

Para fines comparativos es importante analizar el impacto que el aprovechamiento forestal tendría sobre un esquema de aforestación. El escenario diseñado en esta ocasión se trata de extraer el 20% de los árboles cada 20 años, comenzando en el año 20; dicho esquema obedece a que ahora, al partir de cero, se necesita más tiempo para hacer la primera cosecha de madera. Los precios de árboles y bonos de carbono son los mismos que en la sección anterior ($300.00 y US $5.00, respectivamente). Los resultados de dicha simulación se muestran en la Figura 13.6.

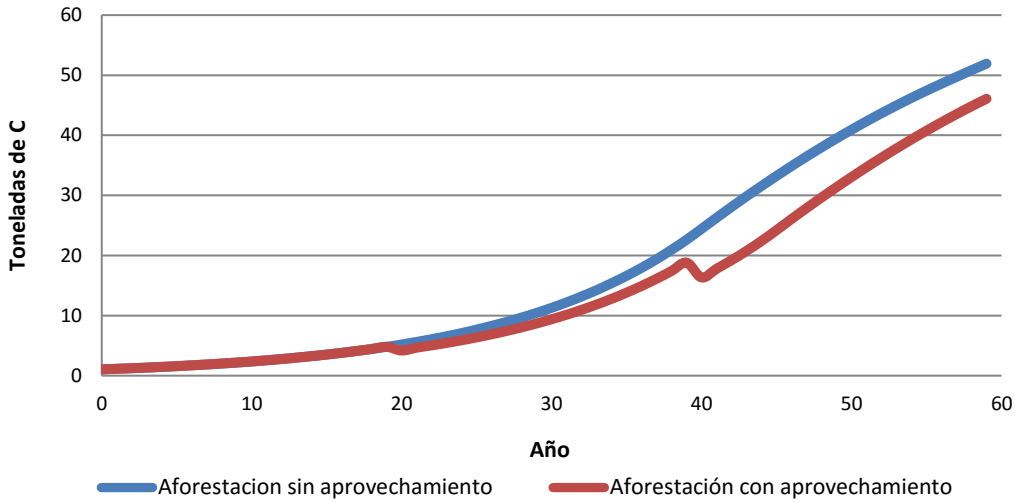


Figura 13.6. Comparación de escenarios de captura de carbono en un esquema de aforestación, sin aprovechamiento y con un aprovechamiento forestal.

Al igual que en el análisis anterior, el incremento en el almacén de carbono es más lento. En el esquema de aprovechamiento forestal el almacén aumenta a 43 toneladas, 10 toneladas menos que en el escenario sin aprovechamiento. Del mismo modo, la captura de CO_2 es 8.5% menor que en el escenario sin aprovechamiento, 172 toneladas de CO_2, lo cual equivale a un promedio de 2.87 toneladas anuales. La menor captura de carbono, no obstante, se compensa con mayores ingresos por la venta de árboles; bajo este segundo esquema los ingresos generados por ambos componentes son de $763.00 anuales,

ligeramente inferior que en el escenario con aprovechamiento de fincas promedio. En general, tanto el potencial de captura de carbono y la generación de ingresos por madera es similar en ambas situaciones.

Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad permite determinar el grado de variabilidad del modelo con respecto al valor de algún parámetro (Vennix, 1996). Este análisis es útil cuando en el modelo existen parámetros estimados u obtenidos con un alto grado de incertidumbre. Al cambiar, dentro de límites plausibles, el valor de un parámetro incierto y observar el comportamiento del modelo es posible determinar el efecto de dicho parámetro. Si el modelo resulta ser poco sensible a un parámetro, se considera que el mismo no debe estimarse con mayor precisión; en el caso opuesto, cuando el modelo es sensible a un parámetro, es indicativo de que éste debe estimarse con mayor precisión, con el fin de disminuir la incertidumbre en el modelo.

En la sección dos se analiza la estructura del modelo y se especifica como se parametrizó el mismo. Debido a que existe incertidumbre en el parámetro de capacidad de carga y la función de crecimiento anual es pertinente determinar la sensibilidad del modelo con respecto a tales parámetros.

Capacidad de carga

En el desarrollo de escenarios, presentado en la sección anterior, la capacidad de carga (CC) fue establecida en 241 toneladas; dicho valor no fue directamente observado, ya que se tomó del manual del CO2FIX model (Schelhaas *et al.*, 2004). Por este motivo existe un alto grado de incertidumbre en este parámetro. De acuerdo a algunos estudios en bosques similares (ver ejemplos del modelo CO2FIX para América Central), la CC puede ser de hasta 300 toneladas. Por la razón anterior se condujo un análisis de sensibilidad con tres CC diferentes; 200, 241 y 300 toneladas, en la finca promedio (descrita en la sección anterior); los resultados se muestran en la Figura 13.7.

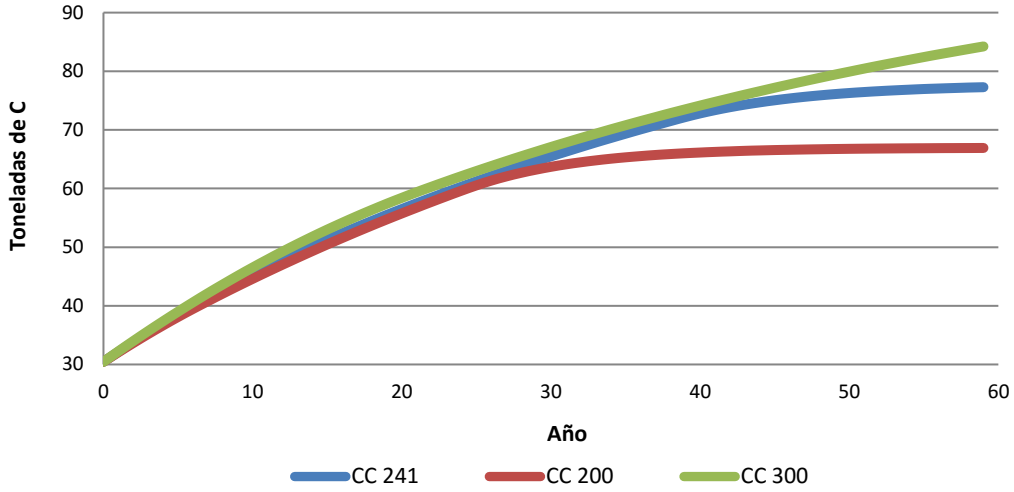


Figura 13.7. Prueba de sensibilidad para la capacidad de carga.

Como se puede observar, al inicio de las simulaciones el comportamiento del modelo es muy similar, las variaciones se comienzan a notar a partir del año 30. La mayor diferencia, como podía esperarse, se da entre los extremos; en la simulación con CC = 300 (indicada en color verde) el almacén de carbono es 26% mayor que en la simulación con CC = 200 (indicada con color rojo). Lo anterior se debe a que en el caso de CC = 200, el punto de saturación se alcanza durante el horizonte temporal de la simulación, lo cual no sucede en el caso de la CC = 300.

La variación con respecto a la corrida base (241 toneladas) es 12% menor para el caso de CC = 200 y 10% mayor para el caso de 300 toneladas, por lo que se puede concluir que el modelo no es significativamente sensible a variaciones de este parámetro.

Curva de incremento anual

Otra fuente de incertidumbre en el desarrollo del modelo fue la curva de incremento anual, presentada en el Cuadro 13.2, ya que se cuenta con información de crecimiento de un año únicamente. De acuerdo a Soto *et al.* (2006), el incremento anual promedio de árboles en fincas de café puede ser de entre 6 y 9 m^3 anuales, dependiendo de la calidad del sitio. Lo anterior se

traduciría en incrementos anuales en el fuste de entre 2.8 y 4.2 m^3 anuales[4]. Para realizar la prueba de sensibilidad se especificaron tres funciones de crecimiento anual (mostradas en el cuadro 13.3), asumiendo baja, media y alta productividad. Los resultados de las diferentes simulaciones se muestran en la Figura 13.8.

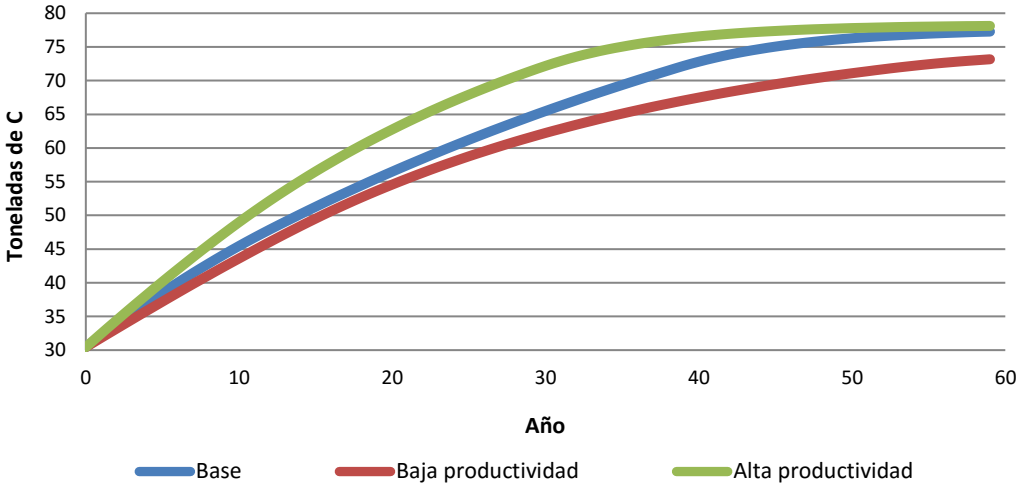


Figura 13.8. Prueba se sensibilidad para la función de incremento anual.

Como se puede observar, los resultados de las tres simulaciones son muy similares, las variaciones del valor final con respecto a la corrida base es menor del 5%. La mayor variación observada es la velocidad de crecimiento; como se podía esperar, a mejor calidad de sitio, mayor es la tasa de crecimiento. Sin embargo, la acumulación total de carbono entre diferentes productividades varía sólo 6%. Esto es indicativo de que la estructura del modelo es robusta con respecto variaciones plausibles de la función de crecimiento (Cuadro 13.3).

La conclusión anterior, sin embargo, no debe confundirse con la natural recomendación de hacer el mejor esfuerzo posible por estimar la capacidad de carga y la función de crecimiento para trabajos más puntuales, pues sería aventurado generalizar los resultados aquí obtenidos más allá de los objetivos de este capítulo. Al respecto, los autores del modelo CO2FIX, recomiendan realizar mediciones en bosques vírgenes cercanos a la zona donde se

[4]Valores estimados dado el FEB de 2.1, valor estimado para la región.

desarrollaría el proyecto para estimar la CC. Del mismo modo, realizar las observaciones pertinentes en un inventario forestal para determinar la función de crecimiento, la cual normalmente depende del número de estratos y especies incluidas en el estudio.

CUADRO 13.3. ESPECIFICACIÓN DE LA FUNCIÓN DE INCREMENTO ANUAL PARA EL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

BIOMASA RELATIVA/CALIDAD DEL SITIO	BAJA PRODUCTIVIDAD (6 m^3 $año^{-1}$)	BASE (8 m^3 $año^{-1}$)	ALTA PRODUCTIVIDAD (9 m^3 $año^{-1}$)
0	0	0	0
20	3	4	4.3
40	4	4	5
60	3.2	4	4.1
80	1	1	0.8
1	0.01	0.01	0.01

13.4. Potencial de captura de carbono y valoración económica

Los resultados que arroja el modelo sugieren que las fincas cafetaleras pueden capturar en promedio 3.5 toneladas de CO_2 al año. Si se considera que en el estado hay 156,977 hectáreas con este cultivo (ver Capítulos 1 y 2), entonces las fincas de café pueden mitigar más de 500 mil toneladas anuales de CO_2. Si se asumen precios de mercado entre US $5.00 y US $20.00 por tonelada de CO_2 (EPA, 2005; Chomitz *et al*., 2007), el ingreso generado por este componente en la finca por cada hectárea sería de entre $220.00 y $900.00.

Si bien el ingreso por unidad parece insuficiente para incidir significativamente en la decisión de uso de suelo, debe tenerse en cuenta que, a nivel agregado, es decir, considerando la superficie total sembrada con café, se cuenta con un servicio valorado en al menos $35'000,000 al año. Lo cual representa, indiscutiblemente, una importante oportunidad para el sector cafetalero en la ZCEV.

Debe considerarse, sin embargo, que la viabilidad tanto técnica como financiera de proyectos que incorporen el pago por servicios ambientales es para

superficies significativamente mayores a las que posee un productor promedio, lo que hace evidente la necesidad de organización entre cafeticultores. Por ejemplo, la CONAFOR realiza el pago por servicios ambientales, hidrológicos y protección de biodiversidad, para superficies de al menos 100 hectáreas para particulares, sociedades o asociaciones y 200 hectáreas para ejidos, comunidades o agrupaciones (CONAFOR, 2013). No obstante, iniciativas del mercado voluntario de servicios ambientales son más flexibles en cuanto a la superficie mínima requerida. La iniciativa Plan vivo, por citar un caso, financia pequeños proyectos de captura de carbono, con superficies menores a 100 hectáreas (Plan vivo, 2013).

13.5. Síntesis reflexiva

Los servicios ambientales que proveen las fincas cafetaleras son una opción potencial para incrementar y diversificar las fuentes de ingreso de los pequeños productores, lo cual constituye un medio para mejorar las figuras financieras de dichos actores, al mismo tiempo que se abate el cambio climático. En la ZCEV se ha identificado un potencial para la provisión de la captura y almacenamiento de carbono. Debido a la presencia de un estrato arbóreo para proveer sombra, los sistemas agroforestales de café poseen casi la misma capacidad que un bosque natural para proveer dicho servicio.

Sin embargo, los estudios desarrollados hasta el momento en la región, no habían abordado la parte dinámica de la provisión del mencionado servicio ambiental, es decir, determinar la capacidad de captura dado el manejo forestal de la plantación. Lo anterior constituye un requisito básico para la inserción a los mercados de captura de carbono. Si bien, el presente trabajo se encuentra limitado por la información disponible, pues los muestreos realizados no fueron pensados para realizar las estimaciones necesarias para llevar a cabo tales proyecciones, el mismo es una primera aproximación al comportamiento del servicio desde una perspectiva dinámica. El impacto financiero de una estrategia que incorpore el pago por servicios ambientales y la producción de madera como productos adyacentes al café es positivo, pero modesto. Debe señalarse, no obstante, que queda pendiente explorar la posibilidad de añadir valor a los productos derivados de la madera. Es decir, comerciar la madera como producto transformado y no como materia prima (árbol en pie), e

incorporar las tendencias de los precios de bonos de carbono al igual que refinar los esquemas de captura de carbono.

Es también importante redefinir el sector financiero, donde se incluya un factor de descuento para incluir el valor del dinero a través de tiempo, así como generar o recabar información que permita estimar los costos de provisión del servicio.

Futuros esfuerzos de modelación deben enfocarse también en generar información que permita tanto mejorar las relaciones representadas en este trabajo, como el incremento anual y la tasa de mortalidad, así como incluir otras importantes reservas de carbono, como lo son el suelo, el sotobosque (los cafetos) y los productos generados a partir de la madera de las fincas. Es muy importante que dicha información se pueda adaptar a las metodologías pertinentes.

Cabe destacar también la posibilidad de desarrollar un esquema de pago por servicios ambientales integral, ya que los cafetales diversificados bajo sombra ofrecen otros importantes servicios ecosistémicos, como lo son la retención y filtración de agua, conservación de la biodiversidad, belleza escénica, entre otros.

Agradecimientos

The first author would like to thank to Dr. Jac Vennix, my supervisor during the preparation of my master thesis. The present chapter is partially based on the previously mentioned research work and without his support it would have been impossible to develop it. However, the whole responsibility is mine.

Literatura citada

Chomitz, K. M., P. Buys, G. de Luca, T. Thomas and S. Wertz-Kanounnikoff. 2007. At Loggerheads? Agricultural expansion, poverty reduction and environment in the tropical forest. The World Bank Policy Research Report. Word Bank Group. Washington, DC, USA. 284 p.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2013. Reglas de operación del Programa Nacional Forestal 2013. http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/tramites-y-servicios/apoyos-2013. [consultado el 11 de abril de 2013].

Dávalos, R., M. Rodrigues y E. Martínez. 2008. Almacenamiento de carbono. p. 223-234. *In*: Manson, R., V. Hernández, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México D. F.

EPA (Environmental Protection Agency). 2005. Greenhouse gas mitigation potential in U.S. Forestry and Agriculture. United States Environmental Protection Agency. Washington, DC, USA. 152 p.

Ford, A. 2009. Modeling the environment. 2a ed. Island Press. Washington, DC, USA. 380 p.

INE (Instituto Nacional de Ecología). 2012. Índice de riesgo de deforestación. http://www.ine.gob.mx/irdef [consultado el 20 de marzo de 2012].

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2000. Land use, land-use change, and forestry. Summary for policymakers. Cambridge University Press. Cambridge, England, UK. 377 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Climate change 2007: Synthesis Report. WMO. UNEP. Geneva, Switzerland. 104 p.

de Jong, B. H. J. 2000. Forestry for mitigating the greenhouse effect: An ecological and economic assessment of the potential of land use to mitigate CO2 emissions in the highlands of Chiapas, México. Tesis de Doctorado. Wageningen University. Wageningen, Holanda. 220 p.

López, M. R., G. Díaz P., J. G. Salazar G., L. E. García M. y R. A. Guajardo P. 2013. Árboles nativos en el sombreado de cafetales: caso de la zona centro del estado de Veracruz. Libro Técnico No. 35. 1a ed. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz. 184 p.

López, M. R., J. L. Martínez R., G. Díaz P. y J. G. Salazar G. 2006. Manejo de cafetales bajo sistemas agroforestales (SAF-Café) en la zona centro del estado de Veracruz: la comunidad como espacio geográfico de estudio. Informe de la segunda etapa del proyecto CONAFOR-CONACYT- 2002-01-6339. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Xalapa, Ver., México. 99 p.

López, R. M. A. 2012. Carbon capture and forest management as a strategy for financial sustainability in coffee plantations in central Veracruz. Tesis de Maestria. European Master in System Dynamics. Radboud University Nijmegen. Palermo University. University of Bergen. Bergen, Norway. 78 p.

Manson, R., A. Contreras y F. López-Barrea. 2008b. Estudios de la biodiversidad en cafetales. p. 1-14. *In:* Manson, R., V. Hernández, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto Nacional de Ecología. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Manson, R., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y M. Klaus. 2008a. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. 330 p.

Masera, O. R., J. F. Garza-Caligaris, M. Kanninen, T. Karjalainen, J. Liski, G. J. Nabuurs *et al*. 2003. Modeling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects: The CO2FIX V.2 approach. Ecological Modelling 164(2-3):177-199.

Ortiz, C. G. 2004. El agroecosistema café: crisis de mercado y sustentabilidad. Tesis de Doctorado. Colegio de Posgraduados Campus Veracruz. Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Ver., México. 125 p.

Peña, A. E., H. E. Pérez y S. I. Pérez. 2006. Café sustentable y bonos de carbon. p 361-372. *In*: Pohlan, J., L. Soto y J. Barrera (eds.). El Cafetal del Futuro: Realidades y Visiones. Shaker-Verlag. Alemania.

Plan vivo. 2013. Cost and resources needs. http://www.planvivo.org/tools-and-resources/costs-and-resource-needs/ [consultado el 18 de julio de 2013].

Pyndick, R. y D. Rubinfeld. 2009. Microeconomía. 7a ed. Pearson Education. Madrid, España. 888 p.

Richards, K. R. and C. Stokes. 2004. A review of forest carbon sequestration cost studies: A dozen years of research. Climatic Change 63(1-2):1-48.

Schelhaas, M., P. Esch, T. Groen, B. Jong, M. Kanninen, J. Liski *et al.* 2004. CO2FIX V 3.1-A modelling framework for quantifying carbon sequestration in forest ecosystems. ALTERRA Report 1068. Wageningen, Netherlands. 122 p.

Soto, P. L., B. H. J. de Jong, E. B. Esquivel y S. Quechulpa. 2006. Potencial ecológico y económico de captura de carbono en cafetales. p 373-380. *In:* Pohlan, J., l. Soto y J. Barrera (eds.). El Cafetal del Futuro: Realidades y Visiones. Shaker-Verlag. Alemania.

Sterman, J. D. 2000. Business dynamics: System thinking and modeling for a complex world. McGraw-Hill Higher Education. Middlesex, MA, USA. 982 p.

TFF (Tress for the Future). 2008. Agroforestry training program: Taking action reaching out. TFF. Silver Spring. Maryland, USA. 66 p.

Vennix, J. A. M. 1996. Group model building: Facilitating team learning using system dynamics. John Wiley and Sons Inc. New York, NY, USA. 316 p.

Williams-Linera, G. y A. López-Gómez. 2008. Estructura y diversidad de la vegetación leñosa. p. 55-68. *In*: Manson, R., V. Hernández, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. Xalapa, Ver., México.

XIV. Implemento de un manejo integrado de plagas y enfermedades en cafetales de la Zona Centro del Estado de Veracruz

Gloria Luz Carrión Villarnovo[1], Trevor Williams[2], Gabriel Mercado Vidal León[2], Jorge Ernesto Valenzuela González[3], Luc Villain[4]

[1] Investigador del Instituto de Ecología A.C., Red de Biodiversidad y Sistemática. gloria.carrion@inecol.edu.mx
[2] Investigador del Instituto de Ecología A.C., Red de Manejo Biorracional de Plagas y Vectores.
[3] Investigador del Instituto de Ecología A.C., Red de Ecología Funcional.
[4] Investigador del CIRAD, Francia. Unidad Mixta de Investigación de Resistencia de Plantas a los Bioagresores.

14.1. Introducción

Desde el uso irracional de químicos en la agricultura post-guerra, los conceptos para combatir las plagas y enfermedades que afectan los cultivos han evolucionado mucho. De un control químico preventivo y sistemático se ha evolucionado hacia un control químico razonado, también llamado control dirigido, donde las aplicaciones de plaguicidas específicos se realizan más de manera curativa, utilizando métodos de supervisión de las poblaciones de plagas y enfermedades y umbrales económicos de intervención. Desde finales de los años 70 e inicio de los 80 se ha evolucionado hacia estrategias de manejo integrado (Boller *et al*., 1998), ante los problemas ocasionados por el uso intensivo de los plaguicidas químicos, tanto a nivel de salud humana: contaminación de las aguas y del aire, como a nivel de medio ambiente: impacto negativo sobre la fauna silvestre incluyendo la fauna auxiliar como las abejas polinizadoras, pululaciones de plagas por los mismos desequilibrios ocasionados en las comunidades animales y vegetales.

Conceptos de manejo integrado de plagas y enfermedades

Al implementar una estrategia de manejo integrado, la meta, muy pocas veces alcanzada, de erradicar las plagas y enfermedades se sustituye por un enfoque preventivo y a largo plazo de manejo de poblaciones de estos organismos con el fin de mantenerlas a un nivel que no ocasione un daño económico significativo para el productor. Se habla de estrategia integrada porque se

contemplan todas las herramientas disponibles, de una manera complementaria y armoniosa, para mantener las poblaciones de las plagas y enfermedades a un nivel lo más bajo posible sin recurrir o disminuyendo al máximo el uso de plaguicidas químicos. Unas de las medidas fitosanitarias más importantes en el cultivo de café son las de profilaxis o prevención a nivel de viveros, de donde las plantas que van al campo deberían de salir libres de plagas y enfermedades. Otra medida de control fitosanitario, también de carácter preventivo es el control genético a través del uso de material resistente[5] que puede ser porta-injertos para el manejo de plagas y enfermedades del suelo (hasta la fecha se ha utilizado la especie *Coffea canephora* var. Robusta), o bien variedades comerciales de *C. arabica* como los Catimores y Sarchimores resistentes a la roya, o las más recientes variedades híbridas F1 con resistencia a la roya y nematodos. Existen también medidas de control cultural, es decir que se va a disminuir los niveles de infestación del cultivo por plagas o enfermedades a través de prácticas agronómicas, como, por ejemplo, las prácticas de "repaso" contra la broca del fruto del café. Otra práctica agronómica de suma importancia, es el manejo de cafetales bajo una sombra adecuada, la cual interviene de múltiples modos: como un regulador de microclima de la parcela disminuyendo tanto los estreses abióticos como los térmicos, luminosos (*C. arabica* es originalmente una planta de sotobosque de los altiplanos etíopes) o hídricos y permitiendo así a las plantas con un mejor estado fisiológico, poder expresar de manera óptima, sus defensas naturales (resistencia) contra enfermedades o plagas o su tolerancia hacia los daños ocasionados por estos organismos.

Los árboles de sombra también aportan una cantidad importante de materia orgánica al suelo mejorando así su estructura, calidad química y actividad biológica, lo que permite una mejor nutrición de los cafetos y consecuentemente un mejor estado fisiológico de estos mismos con las consecuencias positivas que se indicaron anteriormente sobre la resistencia o tolerancia de las plantas a las plagas y enfermedades. Este aporte de materia orgánica también favorece el desarrollo de la microflora y de las micro y macro

[5]Se considera como resistente, a una planta que tiene la capacidad de reducir el desarrollo y actividad de un parásito a través de mecanismos de defensa pasivos (constitutivos) o activos (inducidos). Una planta resistente no es necesariamente inmune, y en este caso, se habla de resistencia incompleta. La tolerancia de una planta es su aptitud en limitar los efectos negativos de un parásito, de un organismo fitófago, o de un factor abiótico, como por ejemplo la sequía.

faunas auxiliares que pueden contribuir a mantener las poblaciones de plagas y enfermedades del suelo a un nivel más bajo. También es importante considerar toda la comunidad vegetal presente en los cafetales, tratándose de plantas cultivadas como el plátano, los cítricos, etc., las especies de árboles de sombra, o las adventicias. Algunas de estas plantas pueden ser hospederas de algunas plagas o enfermedades del cafeto, siendo fuentes de infestación, o bien pueden ser repelentes o tóxicas para los parásitos del cafeto o pueden ser hospederos de organismos benéficos (Ratnadass *et al*., 2012). Otro tipo de control es el control etológico con el cual se va a aprovechar el comportamiento de las plagas en relación con algún estimulante atractivo o repelente muchas veces de naturaleza química, como, por ejemplo, en el caso del trampeo de la broca del fruto del café descrito más adelante. Finalmente se puede recurrir al control biológico, el cual utiliza organismos vivos que tienen una acción antagonista, sea predadora, parasítica o patogénica hacia una plaga o un agente causal de enfermedad de un cultivo. En este caso es importante que el agro-ecosistema sea favorable al establecimiento de las poblaciones de estos auxiliares. También se habla de estrategia integrada porque no se razona únicamente a nivel de la parcela, sino también a nivel del paisaje o inclusive de la región tomando en cuenta las otras parcelas o unidades de producción agrícola vecinas, así como las áreas silvestres vecinas e inclusive a veces las zonas urbanas (Cumming y Spiesman, 2006). Se ha demostrado, por ejemplo, que la composición paisajística a diferentes escalas en zonas cafetaleras influye sobre la diseminación de la roya anaranjada o de la broca (Avelino *et al*., 2012).

Hacia sistemas sostenibles de producción agrícola

Hoy en día, el manejo integrado de plagas y enfermedades debe integrarse a un nuevo y necesario enfoque de intensificación ecológica de la agricultura (Doré *et al*., 2011). Inspirándose del funcionamiento de la naturaleza, se trata de alcanzar una agricultura al mismo tiempo: 1. Productiva, para enfrentar las necesidades crecientes de alimentos en el planeta, 2. Sostenible, al limitar sus insumos y respetar el medio ambiente para tratar de frenar el cambio climático por efecto de invernadero y la pérdida acelerada de biodiversidad. Ya no se mide la eficiencia de esta agricultura solamente en términos de producción, sino también en términos de servicios ambientales (Zhang *et al*., 2007), como la captación de carbono, el uso respetuoso del agua, tratándose inclusive, en el caso de los sistemas agroforestales de café de montaña de la zona central de

Veracruz, de un papel primordial en la recarga de los mantos acuíferos, la preservación de biodiversidad, la prevención de catástrofes naturales, la conservación de la fertilidad de suelos, el atractivo de los paisajes para el ecoturismo, etc., así como en términos de servicios sociales contribuyendo a disminuir la emigración de las poblaciones rurales y fortaleciendo las cohesiones sociales. Los sistemas agroforestales de café presentes en la región central de Veracruz son potencialmente excelentes proveedores de todos estos servicios ambientales, si, de manera congruente, se aplica un manejo integrado de plagas y enfermedades reduciendo al máximo el uso de químicos y evitando todas las moléculas más nocivas. Con los sistemas agroforestales de producción de café, de nada serviría captar agua si se contamina con plaguicidas o herbicidas; de nada serviría mantener una diversidad vegetal dentro de los cafetales como refugio para la fauna local si se aplican moléculas químicas altamente tóxicas.

Respecto a la relación entre agricultura y biodiversidad, se trata aun de ir un paso más allá de su simple conservación logrando sinergias entre agricultura y biodiversidad (Brussaard *et al*., 2010; Quinn, 2012). Quiere decir que no se trata solamente de preservar la biodiversidad, sino que se contempla también aprovechar esta misma biodiversidad para producir mejor. En lo que concierne el manejo integrado de plagas y enfermedades, se puede utilizar la fauna y flora auxiliares endémicas para manejar las poblaciones de los parásitos del cultivo, como por ejemplo las lombrices, los hongos y bacterias del suelo para lograr un control biológico de las poblaciones de nematodos.

Problemática fitosanitaria de los cafetales de la Zona Centro del Estado de Veracruz

En este capítulo se exponen los resultados de proyectos de investigación y/o elementos de información sobre cuatro plagas y enfermedades de importancia económica para la cafeticultura de la Zona Centro del Estado de Veracruz: la corchosis de la raíz del cafeto relacionada con la infestación conjunta de nematodos agalladores (*Meloidogyne* spp.) y hongos del suelo, la roya anaranjada del cafeto (*Hemileia vastatrix*), la broca del fruto del café (*Hypothenemus hampei*), y las hormigas arrieras (*Atta* spp. y *Acromyrmex* spp.).

14.2. Los nematodos y la problemática de la corchosis del cafeto en el estado de Veracruz

Los nematodos son bastante desconocidos por los productores, a pesar de que estos gusanos microscópicos constituyen uno de los grupos más importantes del reino animal, tanto por su número de especies descritas, alrededor de 28,000 (Hugot *et al*., 2001) y un número total de especies estimado en más de medio millón, como por su amplia distribución y gran abundancia en casi todos los ecosistemas del planeta. En los ecosistemas terrestres existe una gran biodiversidad de nematodos llamados de vida libre, que tienen un papel muy importante en la actividad biológica del suelo, tales como los saprófitos que van a participar en el reciclaje de la materia orgánica, los bacteriófagos, los micófagos o los predadores. También están los nematodos fitoparásitos, que parasitan las plantas con diferentes modos de acción sobre sus hospederos según la especie considerada. Los más dañinos para la agricultura son los llamados endoparásitos, es decir que completan una parte o la totalidad de su ciclo biológico dentro de las raíces que van a infestar.

En el caso del cultivo de café, los géneros de nematodos de mayor importancia económica son los nematodos lesionadores, *Pratylenchus* spp. y los nematodos agalladores, *Meloidogyne* spp. (Campos y Villain, 2005). Ambos géneros ocasionan serios daños económicos a la cafeticultura mundial, con una importancia que varía de un país al otro en función de las especies presentes, las cuales tienen niveles de patogenicidad y distribución diferentes. En el estado de Veracruz, se reportaron síntomas relacionados con la presencia de nematodos agalladores *Meloidogyne* spp. desde el inicio de los años 1960's en varios sitios del estado, pero particularmente en las regiones de Córdoba y Huatusco (Vásquez, 1963; Anónimo, 1987). Debido al aspecto de los síntomas en las raíces, que presentan engrosamientos y producción de corcho en las raíces principales lignificadas, incluyendo la raíz pivotante alcanzando hasta el cuello del tallo, se le dio a este síndrome el nombre de corchosis de la raíz del cafeto (Teliz *et al*., 1991). Los productores de Huatusco, muy familiarizados con este síndrome de la raíz del cafeto le han dado el nombre de "nigua" del café. Desde entonces se ha reportado este síndrome en muchas localidades del estado (Anónimo, 1987; Cruz, 2013). Hasta la fecha la especie de nematodo reportada como responsable de esta enfermedad es *Meloidogyne incognita* en asociación

con hongos del suelo, principalmente *Fusarium oxysporum* (Hernández *et al*., 1991; Téliz *et al*., 1991; 1993). En lo que concierne a la especie *M. incognita*, hasta la fecha, todas las identificaciones de poblaciones del estado de Veracruz han sido realizadas con criterios morfológicos, en particular con los diseños perineales de las hembras. Sin embargo, sabemos hoy en día que estos criterios morfológicos no permiten distinguir *M. incognita* de otras especies como *M. izalcoensis* de El Salvador o *M. paranaensis* (Carneiro y Cofcewizc, 2008), especie que está también relacionada con síntomas de corchosis, ocasionando severos estragos a la cafeticultura de Guatemala y de Brasil (Campos y Villain, 2005; Ferraz, 2008; Villain *et al*., 2008). En Costa Rica, otro caso semejante de corchosis de los cafetos ocasiona daños de manera localizada, pero muy severa en la cafeticultura de este país. Se ha demostrado que, en este caso, la corchosis es ocasionada por el conjunto de un nematodo agallador parásito de los cafetos y endémico de este país, *Meloidogyne arabicida*, y por el hongo *F. oxysporum* (Bertrand *et al*., 2000). Hay que considerar también la importante diversidad de especies del género *Meloidogyne* reportadas en café, con un número de 18 especies confirmadas que parasitan los cafetos (Carneiro y Cofcewizc, 2008).

Como reconocer los síntomas de la corchosis de la raíz del cafeto

A nivel aéreo (Figura 14.1), los nematodos agalladores responsables de la corchosis del cafeto tienen un efecto directo sobre la planta, al inducir trastornos importantes en los tejidos vasculares de las raíces y, por lo tanto, en la conducción de la savia. Además, al momento de penetrar dentro de las raíces y sobre todo cuando las hembras maduras ovipositan sus masas de huevos, estas mismas rompen la corteza de la raíz. Estas heridas se vuelven puertas de entrada para hongos y bacterias que provocan un proceso de pudrición y desaparición progresiva del sistema radical de la planta, con un importante efecto sobre la capacidad de la planta a alimentarse y captar agua. Esto se refleja en la planta con síntomas de raquitismo, deficiencias nutricionales, clorosis, flacidez de las hojas en horas calurosas, defoliación y poco a poco un decaimiento prematuro de las plantas hasta su muerte. Por la distribución de los nematodos que van diseminándose progresivamente en el suelo a partir de plantas infestadas (a menudo desde el vivero), estos síntomas aparecen en el campo en forma de focos o manchones que se van expandiendo conforme pasa el tiempo. A menudo se observan manchones de plantas con estos síntomas, aún más marcados en las partes donde se ha quitado la sombra, como resultado de la

combinación del estrés nutricional e hídrico ocasionado por la corchosis, con el estrés fisiológico ocasionado por la exposición a pleno sol (estrés térmico, luminoso e hídrico).

Figura 14.1. Síntomas aéreos de plantas infestadas por la corchosis de la raíz del cafeto: a. Planta joven de un año con síntomas de raquitismo, clorosis y deficiencias nutricionales, b. Plantas adultas mostrando síntomas de clorosis, deficiencias nutricionales, flacidez de hojas y defoliación (caída de hojas), c. Foco de infestación en el campo (primer plano).

A nivel de la raíz (Figura 14.2), se pueden observar engrosamientos o a veces pequeños nódulos bien formados en las raíces más jóvenes (de color blanco). En las raíces lignificadas se observan engrosamientos con un aspecto corchoso. Estos síntomas de hipertrofia con corchosis se pueden observar en las raíces principales incluyendo la raíz pivotante, donde pueden alcanzar hasta el cuello de la planta.

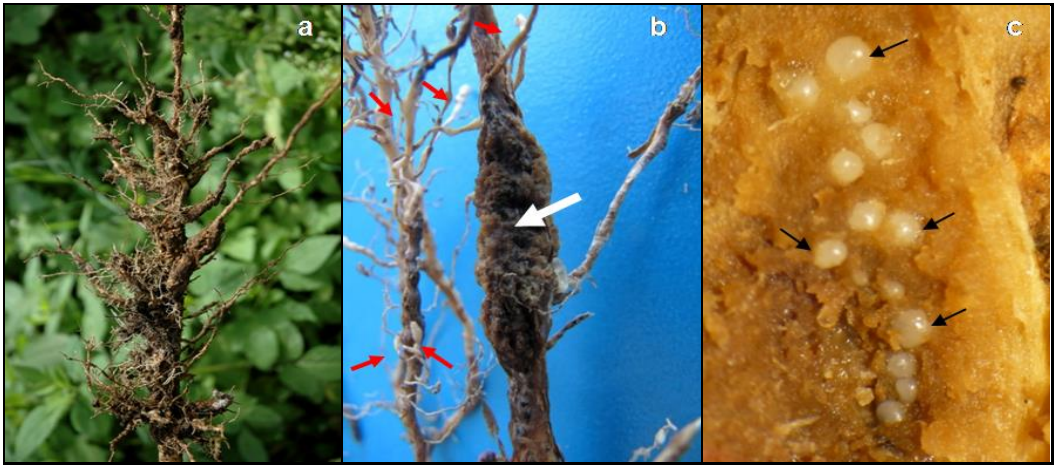


Figura 14.2. Síntomas en la raíz de plantas infestadas por la corchosis de la raíz del cafeto: a. Sistema radical de una planta de vivero con síntomas de hipertrofias corchosas en las raíces principales, b. Detalle de los síntomas de corchosis: engrosamientos corchosos en una raíz principal (flecha blanca) y nódulos en raíces jóvenes blancas (flechas rojas), c. Hembras de *Meloidogyne* sp. causantes de la corchosis con un aspecto globuloso blanco dentro de la parte corchosa de la raíz.

El manejo integrado de nematodos: una necesidad para mantener una buena producción con menor impacto sobre el medio ambiente

Un elemento primordial en la estrategia de manejo integrado de nematodos es la profilaxis, es decir producir viveros sanos, libres de nematodos para no seguir diseminando estas plagas. Por parte del programa *Café In Red*, se han estado transfiriendo a los productores paquetes tecnológicos que permitan la producción de plantas libres de nematodos, en particular con técnicas eficientes de desinfección del sustrato de relleno de bolsas, que sean respetuosas del medio ambiente y permitan conservar la actividad microbiológica del suelo. La solarización del sustrato sería la vía privilegiada. Por otro lado, se debería de

buscar de manera concertada entre los productores, las autoridades competentes y los diferentes actores de la cadena de café, mecanismos que permitan cierto control sanitario de los viveros comerciales, o por lo menos, ofrecer la opción de poder certificar plantas de viveros como libres de nematodos. Los nematicidas químicos son moléculas de alta toxicidad, de espectro amplio, que afectan a casi todos los organismos del reino animal y de alta solubilidad en el agua. Por lo tanto, no tendría sentido tratar de valorizar los servicios ambientales de los cafetales tradicionales de café del centro del estado de Veracruz, como áreas de conservación del agua y recarga de los mantos acuíferos, de conservación de suelos, de conservación de biodiversidad, si por otro lado se aplican nematicidas con las características antes expuestas. Además, los nematicidas tienen un costo alto, es decir que son difícilmente accesibles para los pequeños productores y presentan una eficiencia muy limitada, en particular hacia los nematodos agalladores por el aspecto sedentario de una gran parte de su ciclo biológico (Villain *et al*., 2002). Por estas razones, un paquete tecnológico de manejo integrado de nematodos, proporcionado al productor, deberá incluir alternativas de control eficiente que sean accesibles (bajo costo) a todos los productores y respetuosas del medio ambiente (Figura 14.3).

Desde 2012, se ha iniciado un proyecto de investigación, incorporando en el grupo de trabajo del INECOL a un nematólogo del CIRAD (Centro de Cooperación Internacional de Investigación Agronómica para el Desarrollo) de Francia a través de un convenio de cooperación científica entre ambas instituciones. Este proyecto de investigación y desarrollo se dividió en dos ejes principales de actividades.

El primer eje de actividades consistió en caracterizar el complejo patogénico compuesto por nematodos agalladores y hongos del suelo responsables de la corchosis de la raíz del cafeto, las interacciones de estos patógenos entre sí, con la planta hospedero y con el entorno ambiental. Se inició la colecta de poblaciones de nematodos agalladores sobre café en diferentes sitios geográficos de la región central del estado de Veracruz, estableciendo crías de estas mismas poblaciones. Se realizó un diagnóstico molecular e iso-enzimático de estas poblaciones para confirmar o no la presencia de *M. incognita* y/o de otras especies. De la misma manera, se colectaron y cultivaron los hongos

asociados a los síntomas de corchosis con el fin de realizar también una identificación precisa de estos patógenos con herramientas moleculares.

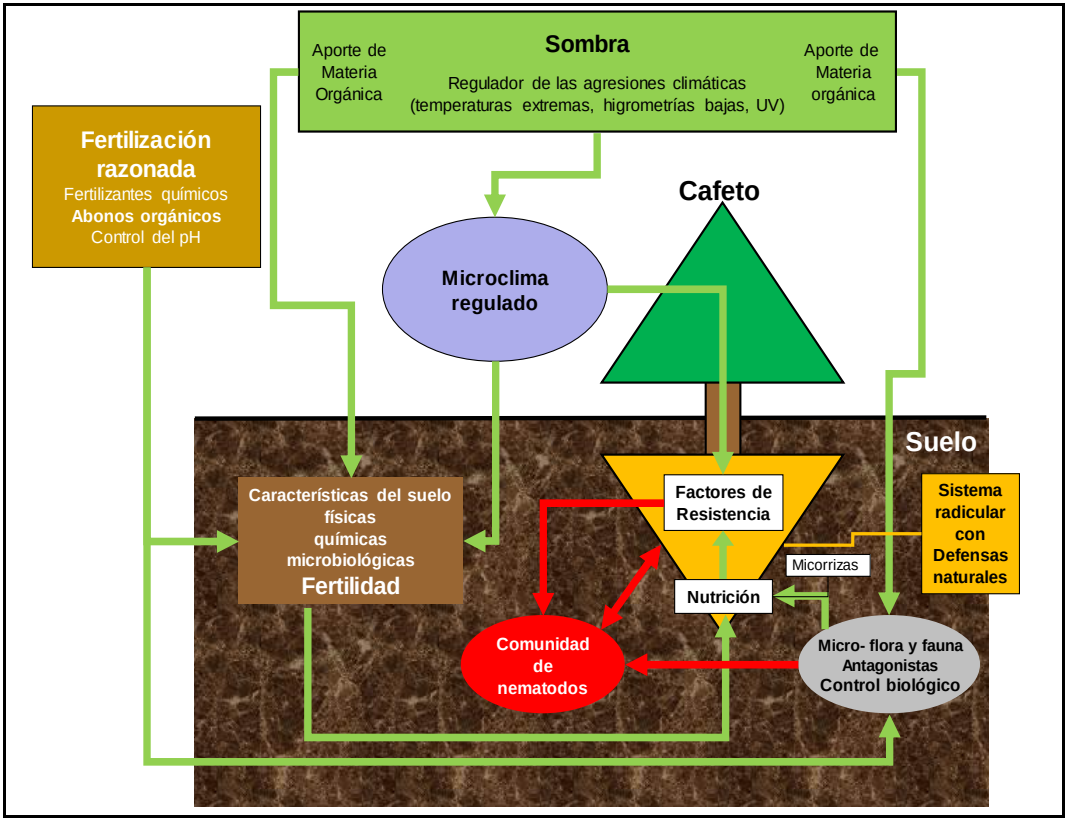


Figura 14.3. Esquema de manejo integrado de nematodos en sistemas agroforestales de producción de café.

Proyecto de investigación y desarrollo del programa *Café In Red* sobre la temática de la corchosis

Una identificación confiable a nivel de especie de estos parásitos fue indispensable para llevar a bien todos los otros estudios sobre esta enfermedad y en particular para elaborar métodos de control, eficientes y adaptados a las poblaciones presentes en la región. El siguiente paso fue la caracterización de las interacciones de estos parásitos, nematodos y hongos, entre sí y con la planta hospedera y el entorno ambiental, con el fin de determinar los mecanismos que

llevan a la producción de corchosis en las raíces de los cafetos. Estos conocimientos permitirán explorar nuevas posibilidades de control de la enfermedad y/o desarrollar métodos de control ya conocidos, que sean eficientes y durables contra las poblaciones de nematodos y hongos de la región, tal como el control genético a través del uso de material vegetal resistente y el control biológico a través del uso de organismos del suelo antagonistas de estos parásitos. Finalmente, en este eje de investigaciones se ha estudiado la epidemiologia de esta enfermedad en relación con la comunidad vegetal presente en los sistemas agroforestales de producción de café del estado de Veracruz. Es decir, se continúa el estudio del estatus de hospedero de las principales especies vegetales asociadas al café: cultivos asociados, especies de árboles de sombra y especies de adventicias.

El segundo eje de investigación consistió en desarrollar y evaluar métodos de control eficientes y respetuosos del medio ambiente. Una primera meta fue proponer un paquete tecnológico para producir plantas de viveros libres de nematodos que fuera: eficiente, accesible a los pequeños productores a través de un bajo costo y una tecnología simple, con un impacto menor sobre el medio ambiente. Para controlar las poblaciones a nivel de campo, los esfuerzos se enfocaron sobre dos líneas de estudio: la primera evaluando material vegetal para poder recomendar a los productores variedades que tengan una resistencia durable a las poblaciones de nematodos presentes en la región, y que estén también adaptadas a las diferentes condiciones agroclimáticas, manteniendo un buen nivel de producción de café, en particular en las zonas de altitud, y que permitan conservar la alta calidad de taza que caracteriza a los cafés producidos en la zona central del estado de Veracruz. La segunda línea de trabajo estuvo enfocada en buscar organismos del suelo que permitieran realizar directamente un control biológico de los nematodos y hongos responsables de la corchosis del cafeto, o que permitieran reducir el impacto de estos patógenos actuando sobre la fisiología de la planta y propiciaran un mayor nivel de expresión de resistencia y/o tolerancia. En esta línea de investigación, una cepa de *Paecilomyces* sp., ya patentizada para el control del nematodo dorado de la papa y en proceso de licenciamiento con la empresa GreenCorp, se está evaluando hoy en día con una población del nematodo responsable de la corchosis, con resultados preliminares muy promisorios. También está en estudio cómo y cuánto podrían influir las lombrices sobre el control de la

corchosis, ya que se evidenciaron en el caso de ataques de nematodos sobre arroz (Blouin *et al*., 2005).

14.3. La roya del cafeto

En el cultivo del cafeto se conocen muchos hongos parásitos como agentes causales de diversas enfermedades, uno de los más importantes económicamente es la roya anaranjada del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk & Br. (Uredinales), el cual es un parásito obligado y específico de *Coffea* spp. (Rubiaceae). Esta roya se descubrió en 1861 parasitando hojas de cafetos nativos de la región del Lago Victoria, Kenia. En 1869 tuvo un efecto devastador en Sri Lanka, provocando el cambio al cultivo del té. Por esta razón ha sido uno de los hongos más temidos y estudiados desde diferentes aspectos. Los países productores de café de América, se mantuvieron libres de esta roya durante 275 años (Wellman, 1972). Sin embargo, llegó a América por Brasil en 1971 y se fue distribuyendo por todas las zonas productoras de cafeto de Sudamérica y Centroamérica (Schieber y Zentmyer, 1984). El gobierno mexicano organizó estrictas campañas de sanidad vegetal por medio del Instituto Mexicano del Café (INMECAFE) y la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Entre las acciones de dichas campañas se incluyó la aspersión del fungicida oxicloruro de cobre y en menor cantidad del triadimefon, sobre todo en los cafetales ubicados en la frontera con Guatemala. También se implementó la introducción de variedades resistentes a la roya como Catimor, Colombia y Sarchimor. A pesar de todas las medidas preventivas para evitar su dispersión, la roya del cafeto llegó a México en 1981, detectada en Chiapas y posteriormente en todas las zonas cafetaleras del país. Sin embargo, en México la roya no causó defoliación grave en las diferentes regiones productoras.

La roya del cafeto puede reconocerse fácilmente por sus manchas amarillas y pulverulentas en el envés de las hojas (Figura 14.4a). Cada mancha es un conjunto de uredos, los cuales pueden producir entre 300,000 y 2’000,000 de esporas (Mcain y Hennen, 1984). El síntoma característico es la fuerte defoliación, aunque si hay afectación en la raíz por nematodos, la defoliación es más severa. La defoliación provocada por la roya (Figura 14.4b) se debe a que el micelio que se desarrolla en las hojas obstruye el flujo de nutrientes en el floema y acelera la abscisión de las hojas. Cuando la enfermedad es severa, la defoliación puede ser

mayor que el 50%. Esto significa que la planta no tiene la energía necesaria para producir los frutos y por lo tanto, afecta el rendimiento de los cafetos.

En el ciclo de vida de la roya se pueden reconocer tres fases: esporulación (producción de esporas y su maduración), diseminación (liberación de esporas, dispersión y llegada a nuevo hospedero) e infección (germinación, penetración y colonización). En las royas, como en muchos otros parásitos, sus ciclos de vida se caracterizan por ser recurrentes, de manera que las nuevas unidades de infección (esporas) tienen la capacidad de repetir este ciclo, produciendo nuevas generaciones que a su vez producirán otras y así, un proceso policíclico provoca la epidemia (Zadock y Schein, 1979).

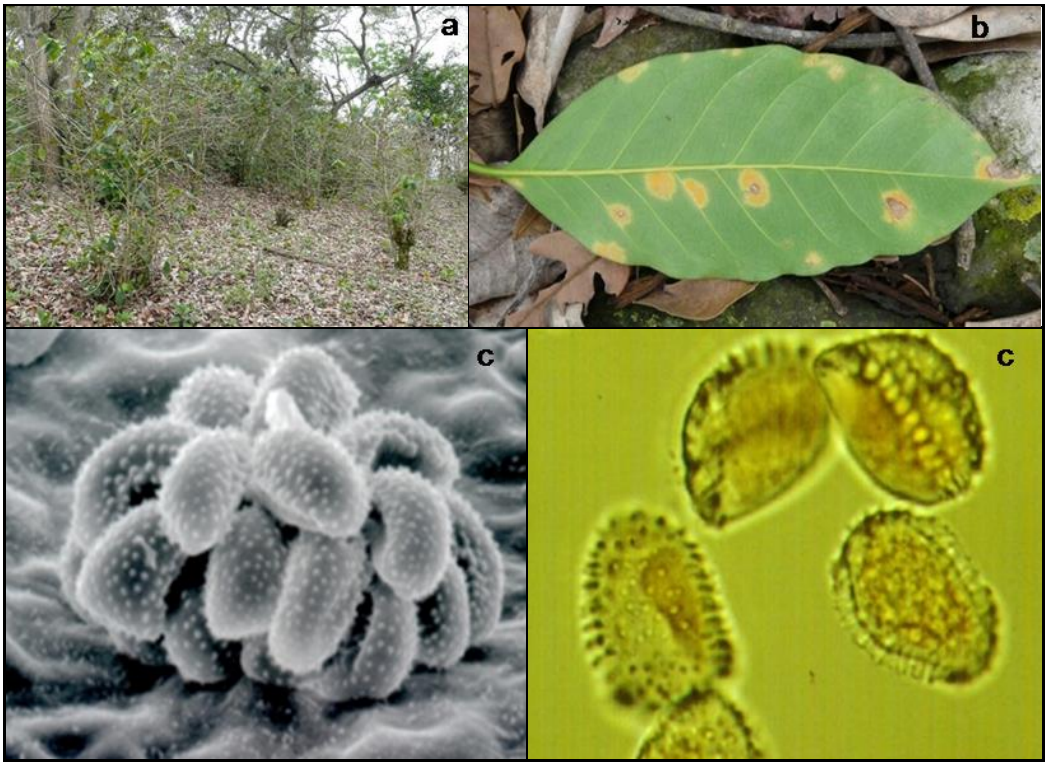


Figura 14.4. Roya del cafeto: a. Cafetos defoliados, b. Pústulas de la roya del cafeto en el envés de las hojas, c. Soro con esporas (izq.). Uredosporas, 1000X (der.).

El ciclo de vida de *H. vastatrix* tiene tres tipos de esporas: uredosporas, teliosporas y basidiosporas. La formación de las teliosporas está asociada a condiciones secas y frías, como en otras especies de royas (Coutinho *et al*., 1995). En la mayoría de los cafetales infectados sólo se presentan las uredosporas, las cuales son el estadio infectivo de las hojas del cafeto. Este hongo, requiere de tan sólo una delgada película de agua, para en pocas horas germinar e introducirse a la hoja del cafeto. El ciclo de la roya empieza con la germinación de las esporas; las condiciones adecuadas para su germinación óptima son una delgada película de agua y temperaturas entre 16 y 28°C. El periodo de incubación en el mesófilo de la hoja oscila entre 15 y 21 días, hasta que, por los estomas se genera su nueva esporulación (Becker, 1984). El conocimiento actual sobre la reproducción sexual de esta roya en la uredospora (espora asexual) puede explicar la generación de nuevas razas fisiológicas, las cuales rompen la resistencia genética del hospedero (Cabral *et al*. 2009; Carvalho *et al*., 2011).

La fenología de la roya del cafeto ha sido estudiada principalmente por los países afectados por este hongo. La mayor esporulación de la roya se presenta en los meses de menor precipitación, ya que es necesaria humedad relativa baja para la esporulación y dispersión de las esporas (Becker, 1979; 1984). En México, la mayor esporulación se presenta desde octubre hasta abril. En la zona cafetalera Xalapa-Coatepec, entre 1997 y 1999 se realizaron evaluaciones de la incidencia y severidad de la roya, demostrando que esta enfermedad se mantenía baja (7% y 2%, respectivamente), sobre todo en cafetales arriba de 1,000 m de altitud, y un poco mayor (16% y <10%, respectivamente) en los cafetales de 700 m de altitud (Carrión, 2006). Durante más de 30 años, la presencia de la roya no había provocado daños significativos en los cafetales.

Sin embargo, al parecer el cambio climático está generando las condiciones idóneas para que este hongo se reproduzca en los cafetales. Los días con lluvias muy finas y con neblina sirven como cámara de incubación para la germinación de sus esporas. El principal factor de dispersión de la roya es el viento, transportando las esporas a kilómetros de distancia (Javed, 1984). Por esta razón es mejor mantener los árboles de sombra, ya que su dosel evita la dispersión. Esto a su vez genera un microclima que puede favorecer el desarrollo de uno de los micoparásitos de las uredosporas de la roya del cafeto [*Lecanicillium lecanii* (Zimmermann) Zare & Gams], el cual se encuentra de manera natural en los cafetales (Carrión y Rico-Gray, 2002). Aspersiones en cafetales a bajas altitudes

han resultado exitosas en la disminución de la severidad de la roya (Alarcón y Carrión, 1994).

14.4. Las hormigas arrieras en los cafetales

Se conocen como hormigas arrieras a las especies cortadoras de hojas pertenecientes a los géneros *Atta* y *Acromyrmex*. Estas hormigas se caracterizan por tener una relación simbiótica con el micelio de un hongo basidiomiceto (*Leucoagaricus gongylophorus*) que les sirve como alimento. La fundación de una colonia inicia cuando un nido maduro produce hembras (reinas) y machos alados, reproductivamente activos, que abandonan el nido parental para aparearse, en lo que se conoce como "vuelo nupcial". Antes del vuelo nupcial, cada joven reina toma una pequeña porción de micelio del hongo simbionte y lo almacena en una estructura bucal conocida como micangio. Después de la cópula, los machos mueren y las reinas fundan una nueva colonia. Una vez localizado un sitio adecuado para nidificar, la reina siembra el hongo y lo mantiene con sus fluidos fecales. Una vez que nacen las primeras obreras, éstas se encargan del mantenimiento del hongo y del resto de las actividades de la colonia, excepto la reproducción. Cada reina puede poner más de un millón de huevos al año. Las colonias de *Atta* pueden ser muy longevas, ya que pueden durar activas por más de 30 años, con una sola reina reproductora (Currie *et al.*, 1999; Currie, 2001). Del género *Atta*, exclusivo del continente americano, se conocen 14 especies, que se distribuyen desde el sur de los Estados Unidos hasta Argentina (Fernández, 2003). En México se encuentran presentes tres especies: *Atta cephalotes*, *A. mexicana* y *A. texana*.

Una adaptación importante en estas hormigas es la utilización eficiente de vegetación fresca, para el cultivo del hongo simbionte que les sirve de alimento. Por esta razón están consideradas erróneamente entre los principales herbívoros en las regiones tropicales del Nuevo Mundo, y su hábito de recolección de hojas las ha convertido en plagas defoliadoras de diversos cultivos (Wilson, 1986). La transformación de bosques nativos a zonas agrícolas provocó un aumento de su dispersión en ambientes perturbados, incluyendo áreas de cultivo (Cherret 1986; Holway *et al.*, 2002). En algunos bosques tropicales se ha estimado que pueden llegar a forrajear entre 12 y 17% de la parte foliar de las plantas. Otros daños colaterales como proliferación de malezas y

pérdida de áreas de pastura se atribuyen a su presencia, además de provocar daños en líneas eléctricas, el interior de maquinaria y daños en la base de estructuras de construcción, debido a la presencia y desarrollo de los nidos (Fowler *et al.*, 1986). En diversos países del continente americano, varias especies de *Atta* han sido registradas como plagas en plantaciones de café, debido a que causan defoliación en cafetos, árboles de sombra y plantas forrajeras (Le Pelley, 1973; Varón-Devia, 2006); en México, *A. cephalotes* y *A. mexicana* han sido reportadas como plagas de este cultivo (Quiroz-Robledo, 1999).

Convencionalmente, el control de la hormiga arriera ha sido mediante la aplicación de insecticidas químicos como sulfuramida y diflubenzuron (Santos *et al.*, 2007). Estas sustancias químicas son efectivas en el corto plazo; sin embargo, por su toxicidad y baja especificidad, su uso es riesgoso y han causado problemas de salud en humanos y otros animales, de manera que, a largo plazo, generan mayores costos económicos para los productores y para el ecosistema (López y Orduz, 2003; Santos *et al.*, 2007). Una alternativa para el manejo de estos insectos en plantaciones de café certificadas como orgánicas es el uso de agentes de control biológico. En el caso de las hormigas arrieras *A. mexicana*, *A. cephalotes* y *Acromyrmex octospinosus* se ha reportado infección natural ocasionada por algunos hongos entomopatógenos como *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* (Carrión *et al.*, 1996; Posada, 1997; López *et al.,* 1999; Rodrigues *et al.,* 2009).

La región montañosa de Veracruz es una de las zonas cafetaleras más importantes de México, representando el 42% de la producción total del estado (Hernández-Martínez, 2008). Dentro de las plagas documentadas en esta zona se encuentran las hormigas arrieras que, de acuerdo a estudios previos, corresponden a las especies *A. octospinosus, A. cephalotes* y *A. mexicana,* siendo estas dos últimas, las más importantes como defoliadoras (Valenzuela-González *et al.*, 2008). A pesar de su presencia, a la fecha, no existen evaluaciones realizadas en la región sobre la magnitud de los daños causados por estos insectos. Sin embargo, algunos cafeticultores de la región (principalmente productores orgánicos) han manifestado su interés por buscar alternativas de control para este insecto, debido a los problemas que causa en sus fincas (Figura 14.5). Estos problemas involucran desde la defoliación de la vegetación de sombra, daño a las hojas y flores del cafeto, mortalidad de cafetos en vivero y

daños a las instalaciones del lugar debido al comportamiento de nidificación de las hormigas.

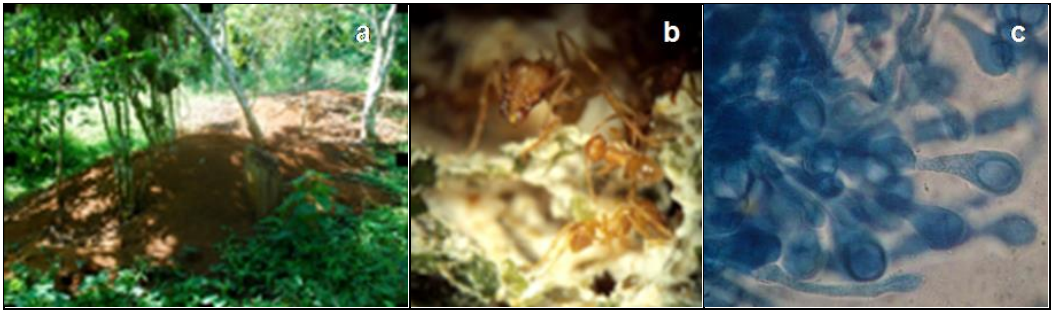


Figura 14.5. *Atta mexicana*: a. Nido de hormiga arriera en cafetal, b. Hormigas cultivando el hongo simbionte, c. Gongilidios (estructuras modificadas del micelio) de *Leucoagaricus gongylophorus*. 1000X.

En esta línea de investigación, se evaluó bajo condiciones de laboratorio, la efectividad de algunos aislamientos de los hongos entomopatógenos *M. anisopliae* y *B. bassiana* y el hongo micoparásito *Escovopsis weberi* del hongo simbionte, para disminuir la densidad de individuos en un nido o afectar el funcionamiento de la colonia. Todos los aislamientos evaluados fueron obtenidos de muestreos realizados en la zona cafetalera de Coatepec, Veracruz, México. Los hongos entomopatógenos fueron aislados de reinas de *A. mexicana,* capturadas después del vuelo nupcial, en cafetales de la región (Figura 14.6). Las cepas aisladas fueron seleccionadas con base en la viabilidad de conidios, crecimiento micelial final, esporulación y virulencia. Posteriormente, las cepas seleccionadas fueron evaluadas *in vitro* sobre obreras de minicolonias de hormigas arrieras mantenidas en cautiverio. Los resultados han demostrado mortalidad de más del 80% en las hormigas obreras y como consecuencia el evidente deterioro del hongo simbionte de las colonias tratadas (Cadavid-Florez, 2011).

En el caso del hongo micoparásito *E. weberi* (Figura 14.7), se trabajó con la cepa obtenida del hongo simbiótico afectado en una colonia de *A. mexicana*. La aplicación del micoparásito en colonias experimentales tuvo un efecto nocivo en los nidos por el detrimento que provoca sobre el hongo cultivado por las hormigas, a partir del cual se alimentan las larvas.

Figura 14.6. Hormigas reinas de *Atta mexicana* parasitadas con hongos entomopatógenos: a. *Beauveria bassiana*, b. *Metarhizium anisopliae*.

El éxito del uso de este tipo de organismos para el manejo de insectos plaga se basa en gran parte en dos aspectos fundamentales: la obtención de aislamientos con características favorables para su manejo como agentes de control biológico y un método adecuado de aplicación. Los resultados obtenidos tanto con los entomopatógenos como con el micoparásito, indican que algunos de estos aislamientos pueden ser buenos prospectos para ser utilizados como agentes de control biológico de hormigas arrieras, por lo que es recomendable efectuar las pruebas correspondientes para evaluar su efectividad bajo condiciones de campo.

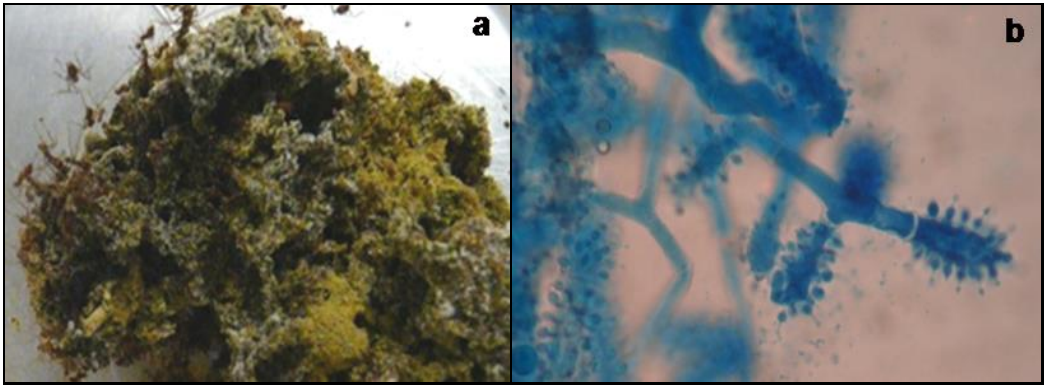


Figura 14.7. Hongo cultivado por las hormigas arrieras: a. Inoculado con el micoparásito *Escovopsis weberi*, b. Conidióforos del hongo micoparásito 1000X.

El éxito del uso de este tipo de organismos para el manejo de insectos plaga se basa en gran parte en dos aspectos fundamentales: la obtención de aislamientos con características favorables para su manejo como agentes de control biológico y un método adecuado de aplicación. Los resultados obtenidos tanto con los entomopatógenos, como con el micoparásito, indican que algunos de estos aislamientos pueden ser buenos prospectos para ser utilizados como agentes de control biológico de hormigas arrieras, por lo que es recomendable efectuar las pruebas correspondientes para evaluar su efectividad bajo condiciones de campo.

14.5. La broca del fruto del cafeto

La broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytidae) está considerada como la plaga que ocasiona más daños a este cultivo a nivel mundial (Jaramillo *et al*., 2011). Este insecto se introdujo a México por el sureste, específicamente por la región cafetalera del Soconusco, Chiapas, en 1978, y actualmente se le puede encontrar en todas las zonas productoras de café del país, incluyendo las del estado de Veracruz, en donde apareció en 1991 (Barrera, 2005). Es un insecto de tamaño diminuto y con apariencia de un gorgojo. Bajo condiciones favorables y sin ningún método de control puede llegar a ocasionar pérdidas hasta del 80% en la producción (Barrera, 2005). Este insecto se alimenta de los frutos de café y causa daño directo en los granos, afectando el rendimiento y calidad de la cosecha. Los frutos verdes, maduros y secos atacados por la broca hembra, presentan generalmente un agujero en su área apical o corona, percibiéndose en esta zona la presencia de un aserrín o polvo obscuro, el cual es más perceptible en café robusta (*C. canephora*), de manera que entre más severa es la infestación de la broca en un fruto, más obscuro es este polvillo (SENASICA, 2007).

Hasta hace diez años, no se tenían informes de broca encontrada en plantaciones de café arábiga (*Coffea arabica*) por arriba de 1,500 m de altitud (Davis *et al*., 2006); sin embargo, debido al aumento en años recientes de las temperaturas en las regiones cafetaleras, este insecto puede ser encontrado actualmente también en las zonas altas, en donde es capaz de infestar café arábiga (Jaramillo *et al*., 2009). Todas las variedades y especies comerciales de café son atacadas por este insecto, aunque presenta una preferencia por el café

robusta, y su multiplicación también es más alta en esta especie (Vega y Mercadier, 1998). Las estimaciones de pérdidas ocasionadas por la broca se han basado principalmente en el porcentaje de frutos perforados y granos dañados (Reid y Mansingh, 1985).

En lo que se refiere al control de esta plaga, existen varios insecticidas químicos, entre los que destaca el endosulfan. Sin embargo, el uso continuo de este producto organoclorado está siendo seriamente cuestionado debido a sus efectos colaterales y a otros efectos indeseables (EPA, 2002; Barrera, 2005). En este contexto, el Manejo Integrado de la Broca (MIB) se presenta como una herramienta que une de manera estratégica varios métodos de monitoreo y control, incluyendo al trampeo como parte de estos métodos, y que privilegian además el control biológico para reducir los impactos económicos asociados con infestaciones de esta plaga.

La broca en la región cafetalera central veracruzana

Comparación de tipos de trampas. Para el caso de la broca del café en la región central de Veracruz, en junio de 2011 se inició una serie de actividades en fincas cafetaleras de la región de Coatepec, Ver., con la finalidad de estudiar la dinámica de esta plaga en la región. Con el apoyo de personal técnico de campo del Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Veracruz (CESVVER), se identificaron y seleccionaron tres fincas con cultivos de café arábica, con niveles de altitud diferente y con sistemas de manejo en campo similares. Las fincas seleccionadas fueron: Arcos (624 m de altitud), Vegas (768 m de altitud) y Costa Rica (901 m de altitud). Estas fincas fueron sujetas a un estudio para comparar la eficiencia de dos tipos de trampa: Etotrap y Ecoiapar, cuya función está fundamentada sobre una base etológica para la captura de adultos de broca del café. Tanto la trampa Etotrap como el atrayente usado en ambos diseños, están indicados por la norma NOM-037-FITO1995 y son empleados en la Campaña Nacional contra la broca del café. Por otro lado, la trampa Ecoiapar, ha sido desarrollada y probada por investigadores de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) en las regiones cafetaleras de Chiapas y Guatemala (Campos, 2007; Barrera *et al*., 2008). El diseño de estas trampas está basado en la reutilización de envases plásticos de refrescos, con capacidades de 2 y 2.5 L, habilitadas con un gotero plástico y/o vial de vidrio conteniendo un atrayente, el cual consiste en una mezcla de etanol-metanol en la proporción 3:1. Cada una de las trampas

fue acondicionada con un lecho de agua, donde fueron capturados los insectos atraídos por el cebo. Para llevar a cabo el estudio, inicialmente se seleccionó una planta café robusta por cada finca. En estas plantas se colocaron en pares las trampas (una trampa Etotrap y una Ecoiapar) (Figura 14.8). Cada trampa fue colocada sobre la planta a una altura aproximada de 1.30 m sobre el suelo. Posteriormente y bajo el mismo esquema de colocación de las trampas en pares (una trampa Etotrap y una Ecoiapar por mata), se realizó un experimento con cuatro repeticiones por cada una de las tres fincas mencionadas, en matas de café arábica bajo sombra.

Figura 14.8. Trampas Etotrap y Ecoiapar utilizadas en la evaluación para la captura de broca del café en fincas de la región de Coatepec, Veracruz.

Comparación de tipos de atrayentes. De igual forma y tomando en cuenta que el empleo de diferentes atrayentes tiene implicaciones en términos de disponibilidad, costos y para el caso de los alcoholes, la pronta volatilización de los mismos al ser empleados como cebos, se realizó un estudio para evaluar diferentes atrayentes basados en aceites esenciales en combinación con alcoholes. Estas actividades se realizaron en la finca Vegas, una de las fincas antes descritas, perteneciente a la región de Tuzamapan en el municipio de Coatepec, Veracruz, donde se tenía referencia de la presencia de la broca. El estudio se basó en un ensayo realizado en campo en el cual se evaluaron los siguientes siete tratamientos con seis repeticiones cada uno: (i) mezcla de

metanol-etanol 3:1, (ii) alcohol de caña, (iii) mezcla de metanol + sándalo, (iv) mezcla de metanol + esencia de romero, (v) mezcla de metanol + esencia de naranja, (vi) mezcla de metanol + esencia de clavo, (vii) testigo (agua purificada). Cada uno de los cebos fue acondicionado en viales de vidrio de 15 mL de capacidad, con una tapa de hule perforada y usada como difusor del atrayente. Las trampas empleadas fueron del tipo Ecoiapar. En campo se colocaron dos trampas con diferentes tratamientos y seleccionadas aleatoriamente sobre ramas a 1.30 m de altura sobre el suelo en plantas de café arábiga. La recolección de muestras y de datos se realizó mediante visitas a las fincas cada 15 días. Posteriormente, y con las muestras recuperadas de las 42 trampas, se realizó la identificación y conteo de brocas capturadas en laboratorio.

Infestación de frutos. Por otro lado, y a partir de un estudio para determinar el porcentaje de infestación por broca en granos de café (100 granos por muestra) procedentes de 51 sitios de la región central veracruzana (Huatusco, Córdoba, Misantla, Coatepec, Atzalan y Zongolica), se seleccionaron tres fincas, en las cuales se obtuvo el mayor porcentaje de infestación por broca. Estas fincas correspondieron a las regiones de Huatusco (Localidad El Mirador: 1,053 m de altitud); Córdoba (Cañada Blanca, mpio. de Amatlán: 868 m de altitud) y Misantla (Localidad La Victoria, mpio. de Yecuatla: 320 m de altitud). Posteriormente, las fincas fueron ubicadas geográficamente y sujetas a una visita mensual entre marzo y septiembre de 2012, para llevar a cabo un recorrido por cada una de ellas e identificar sitios para posteriores muestreos de granos en plantas de café. En cada visita mensual realizada, además de realizar una colecta de frutos, se tomaron datos de temperatura e intensidad luminosa como covariables en el proceso de infestación de broca.

Resultados de estudios de la broca del café

Comparación de tipos de trampas. Los resultados de los estudios sobre la evaluación de los dos tipos de trampa mostraron que, en las tres fincas de la región de Coatepec, el mes de abril fue en el que se presentó mayor captura de broca, en un período de muestreo que duró de febrero a junio de 2012. Esto se debió a que, durante esta época del ciclo, denominada de intercosecha, se presentó el fenómeno de “emergencia masiva” (Ramírez del Ángel *et al*., 2007), en el cual las hembras abandonaron los frutos viejos para salir en busca de nuevos frutos. De igual forma, la trampa Ecoiapar (1 ventana), capturó el mayor

número de broca en las tres fincas evaluadas; en el caso de la finca Vegas, la trampa Ecoiapar capturó aproximadamente 40% más brocas que la trampa Etotrap.

Comparación de tipos de atrayentes. En lo que se refiere al estudio para evaluar atrayentes basados en aceites esenciales y alcoholes, se observaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos. El tratamiento compuesto por la mezcla de metanol-etanol 3:1 fue el que más atrajo broca de café en relación a los otros, seguido del tratamiento conteniendo únicamente alcohol de caña de azúcar. El tratamiento testigo (agua purificada) fue el que atrajo menos broca. Asimismo, los tratamientos correspondientes a las mezclas de metanol + los aceites esenciales de sándalo, romero y naranja, tuvieron una respuesta intermedia, mientras que el tratamiento de aceite de clavo fue intermedio entre el control y el alcohol de caña.

Infestación de frutos. Finalmente, y con relación a los estudios para determinar los niveles de infestación en tres fincas de café en las regiones de Huatusco, Córdoba y Misantla, los datos obtenidos señalan que los meses de marzo, mayo, julio y septiembre son aquellos donde se presenta el mayor porcentaje de infestación. De igual forma, las muestras obtenidas de la finca de la región de Córdoba en el mes de mayo, fueron las que presentaron mayor porcentaje de infestación de broca en frutos (98% en el mes de mayo).

Complejidad en el control de la broca del cafeto

La plaga de la broca del café se encuentra presente en las principales regiones cafetaleras del centro del estado de Veracruz. No obstante, su biología, las especies de café sembradas y la altitud a la que se encuentran las fincas, intervienen como factores que influyen en su reproducción dentro de los granos de café. De acuerdo a los estudios para evaluar los tipos de trampa para el monitoreo y control de la broca del café en fincas cafetaleras veracruzanas, la trampa Ecoiapar resultó tener una mayor eficiencia en el trampeo, comparada con la trampa Etotrap. Por lo tanto, se recomienda una evaluación de este diseño de trampa a escala regional dado su eficiencia en estudios realizados en Chiapas, y ahora en Veracruz.

Por otro lado, y para el caso de los atrayentes probados bajo condiciones de campo, la mezcla de etanol-metanol 3:1 fue el atrayente más efectivo para *H. hampei* en comparación con los cebos con aceites esenciales. Sin embargo, el atrayente con base en alcohol de caña tuvo un buen desempeño, y por su bajo costo debería ser considerado como una posible alternativa al uso del metanol, el cual es tóxico por ingestión.

Finalmente, el manejo de la broca del café es un asunto complicado. Por ser una plaga críptica que vive prácticamente toda su vida dentro del grano de café, no está disponible al ataque de la mayoría de los enemigos naturales. En este sentido, las hormigas del género *Azteca*, los parasitoides exóticos importados de países africanos, y los hongos entomopatógenos como *B. bassiana* han generado el mayor grado de interés entre los investigadores en el campo del control biológico. No obstante, a pesar de los esfuerzos para optimizar el uso de estos tipos de enemigos naturales, parece que el principal factor que determina los niveles de infestación de la broca en las fincas, es el precio del café en el mercado. Cuando los precios son altos, el cafeticultor maximiza la cosecha y muy pocos frutos infestados quedan en la planta de café o en el suelo. En cambio, cuando el precio del café es bajo, la cosecha es menos rigurosa o no se realiza y las poblaciones de la plaga pueden reproducirse y crecer de manera muy importante. Típicamente esta situación se mantiene durante varios años hasta que los mercados internacionales empiezan a favorecer los precios de café, con la consecuente movilización de la actividad cafeticultora en el país. En realidad, existe una serie de factores biológicos, ambientales, económicos y sociales que determinan la importancia de esta plaga, los cuales han sido revisados en gran detalle (Barrera, 2005). No cabe duda de que la cafeticultura en la región requiere de un enfoque holístico para atender sus demandas y promover esta actividad de gran importancia regional de manera sostenible y socialmente responsable.

Agradecimientos

Al CONACYT por el apoyo al proyecto: Consolidación de una red agroecológica intersectorial de innovación para lograr una cafeticultura sustentable en el centro del estado de Veracruz y al Dr. Robert Manson, responsable de este proyecto.

A los propietarios y al personal de campo de las fincas Arcos, Vegas y Costa Rica de la región de Coatepec, Ver., y a los Sres. David Cabrera, Jorge Müller y Alberto Fernández, propietarios de las fincas cafetaleras de Cañada Blanca, municipio de Amatlán de los Reyes, El Mirador, municipio de Huatusco y La Victoria, municipio de Yecuatla, Ver., respectivamente, por las facilidades brindadas durante las actividades de campo.

Literatura citada

Alarcón, R. y G. Carrión. 1994. Uso de *Verticillium lecanii* en cafetales como control biológico de la roya del cafeto. Fitopatología 29(1):82-85.

Anónimos, 1987. Los nematodos en cafetales del centro de Veracruz. Boletín Técnico de Café No. 4. Instituto Mexicano del café. Veracruz, Ver., México. 4 p.

Avelino, J., A. Romero-Gurdián, H. F. Cruz-Cuellar and F. A. J. Declerck. 2012. Landscape context and scale differentially impact coffee leaf rust, coffee berry borer and coffee root-knot nematodes. Ecological Applications 22(2):584-596.

Barrera, J. F. 2005. Investigación sobre la broca del café en México: logros, retos y perspectivas. p. 1-13. *In*: Barrera, J. F. (ed.). Simposio sobre Situación Actual y Perspectivas de la Investigación y Manejo de la Broca del Café en Costa Rica, Cuba, Guatemala y México. Sociedad Mexicana de Entomología. Colegio de la Frontera Sur. Tapachula, Chis., México.

Barrera, J. F., J. Herrera, M. Chiu, J. Gómez y J. Valle M. 2008. La trampa de una ventana (ECOIAPAR) captura más broca del café *Hypothenemus hampei* que la trampa de tres ventanas (ETOTRAP). Entomología Mexicana 7:619-624.

Becker, S. 1979. Estudios sobre la propagación de las uredosporas de *Hemileia vastatrix* Berk & Br., agente causal de la roya en Kenia. Sociedad Alemana de Cooperación Técnica. Eschborn, Hessen, Alemania. 70 p.

Becker, S. 1984. Epidemiology and spreads of *Hemileia vastatrix*. p. 35-40. *In*: Fulton, R. H. (ed.). Coffee Rust in Americas. American Phytopathological Society. Saint Paul, MN, USA.

Bertrand, B., C. Nuñez and J. L. Sarah. 2000. Disease complex in coffee involving *Meloidogyne arabicida* and *Fusarium oxysporum*. Plant Pathology 49:383-388.

Blouin, M., Y. Zuily-Fodil, A. T. Pham-Thi, D. Laffray, G. Reversat, A. Pando *et al*. 2005. Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, inducing plant tolerance to parasites. Ecology Letters 8(2):202-208.

Boller, E. F., J. Avila, J. P. Gendrier, E. Jörg and C. Malavolta. 1998. Integrated plan protection in the context of a sustainable agriculture. IOBC-WPRS Bulletin 21(1):13-17.

Brussaard, L., P. Caron, B. Campbell, L. Lipper, S. Mainka, R. Rabbinge *et al*. 2010. Reconciling biodiversity conservation and food security: Scientific challenges for a new agriculture. Current Opinion in Environmental Sustainability 2(1-2):34-42.

Cabral, P. G. C., E. M. Zambolim, L. Zambolim, T. P. Lelis, A. S. Capucho and E. T. Caixeta. 2009. Identification of a new race of *Hemileia vastatrix* in Brazil. Australasian Plant Disease Notes 4:129-130.

Cadavid-Florez, L. 2011. Evaluación del efecto de hongos entomopatógenos para el control de *Atta mexicana* (Hymenoptera: Formicidae). Tesis de Maestría. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Ver., México. 117 p.

Campos, O. 2007. 35 Años de experiencias sobre la Broca del café en Guatemala. p. 7-16. *In*: Barrera, J. F., A. García, V. Domínguez y C. Luna (eds.). La Broca del Café en América Tropical. Hallazgos y Enfoques. Sociedad Mexicana de Entomología. Colegio de la Frontera Sur. Tapachula, Chis., México.

Campos, V. P. and L. Villain. 2005. Nematode parasite of coffee and cocoa. p. 529-579. *In*: Luc, M., R. A. Sikora and J. Bridge. Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture. 2a ed. CABI Publishing. London, UK.

Carneiro, R. M. D. G. and E. T. Cofcewicz. 2008. Taxonomy of coffee-parasitic root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp. p. 87-122. *In:* Souza, R. M. (ed.). Plant-Parasitic Nematodes of Coffee. Springer. Netherlands.

Carrión, G. 2006. La naturaleza de las interacciones entre la roya del cafeto y sus hiperparásitos. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. México, D.F. México. 119 p.

Carrión, G., L. Quiroz y J. Valenzuela. 1996. Hongos entomopatógenos de las hormigas arrieras *Atta mexicana* en México. Revista Mexicana de Micología 12:41-48.

Carrión, G. and V. Rico-Gray. 2002. Mycoparasites on the coffee rust in México. Fungal Diversity 11:49-60.

Carvalho, C. R., R. C. Fernandes, G. M. Almeida Carvalho, R. W. Barreto and H. C. Evans. 2011. Cryptosexuality and the genetic diversity paradox in coffee rust, *Hemileia vastatrix*. PloS One 6(11):1-7.

Cherrett, J. M. 1986. History of the leaf-cutting ant problem. p. 10-17. *In*: Lofgren, C. S. and R. K. Vander-Meer (eds.). Fire Ants and Leaf-Cutting Ants. Westview Press**.** Boulder, Colorado, USA.

Coutinho, T. A., F. H. J. Rijkenberg and M. A. J. Van Asch. 1995. Teliospores of *Hemileia vastatrix*. Mycological Research 99(8):932-934.

Cruz, H. L. 2013. Identificación del nematodo agallador de la raíz del cafeto en la región centro de Veracruz. Trabajo de Experiencia Recepcional. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas. Xalapa, Ver., México. 39 p.

Cumming, G. S. and B. J. Spiesman. 2006. Regional problems need integrated solutions: Pest management and conservation biology in agroecosystems. Biological Conservation 131(4):533-543.

Currie, C. R. 2001. A community of ants, fungi and bacteria: A multilateral approach to studying symbiosis. Annual Review of Microbiology 55(1):357-380.

Currie, C. R., J. A. Scott, R. C. Summerbell and D. Malloch. 1999. Fungus-growing ants use antibiotic-producing bacteria to control garden parasites. Nature 398(14):701-704.

Davis, A. P., R. Govaerts, D. M. Bridson and P. Stoffelen. 2006. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). Botanical Journal of the Linnean Society 152(4):465-512.

Doré, T., D. Makowski, E. Malézieux, N. Munier-Jolain, M. Tchamitchian and P. Tittonell. 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. European Journal of Agronomy 34(4):197-210.

EPA (Environmental Protection Agency). 2002. Endosulfan RED facts. www.epa.gov/oppsrrd1/REDs/factsheets/endosulfan_fs.htm [consultado el 14 julio de 2013].

Férnandez, F. (ed). 2003. Introducción a las hormigas de la región Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 398.p.

Ferraz, L. C. C. B. 2008. Brazil. p. 225-248. *In*: Souza, R. M. (ed.). Plant-Parasitic Nematodes of Coffee. Springer. Netherlands.

Fowler, H. G., L. C. Forti, V. Pereira-da-Silva and N. B. Saes. 1986. Economics of grass-cutting ants. p. 18-35. *In*: Lofgren, C. S. and R. K. Vander-Meer (eds.). Fire Ants and Leaf-Cutting Ants. Westview Press. Boulder, Colorado, USA.

Hernández-Martínez, G. 2008. Clasificación agroecológica. p. 15-34. *In*: Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracuz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología. Instituto Nacional de Ecologia. México, D. F.

Hernández, V. E. E., G. Castillo P. y V. Cid del Prado I. 1991. Estudio fitonematológico en cafetales del municipio de Tlaltetela, Ver. p. 127. *In*: Resúmenes del XVIII Congreso Nacional de Fitopatología. Puebla, Pue., México.

Holway, D., L. Lach, A. V. Suarez, N. D. Tsuitsui and T. J. Case. 2002. The causes and consequences of ant invasions. Annual Review of Ecology and Systematics 33:181-233.

Hugot, J. P., P. Baujard and S. Morand. 2001. Biodiversity in helminths and nematodes as a field of study: An overview. Nematology 3(3):199-208.

Jaramillo, J., A. Chabi-Olaye, C. Kamonjo, A. Jaramillo, F. E. Vega, H. M. Poehling *et al*. 2009. Thermal tolerance of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*: Predictions of climate change impact on a tropical insect pest. PLoS One 4(8):1-11.

Jaramillo, J., E. Muchugu, F. E. Vega, A. Davis, C. Borgemeister and A. Chabi-Olaye. 2011. Some like it hot: The influence and implications of climate change on coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) and coffee production in East Africa. PLoS One 6(9):1-14.

Javed, Z. U. R. 1984. Leaf rust in Africa and what it means to american programs. *In*: Fulton, R. H. (ed.). Coffee Rust in Americas. American Phytopathological Society. Saint Paul, MN, USA. 120 p.

Le Pelley, R. H. 1973. Las plagas del café. Agricultura tropical. Ed Labor. Barcelona, España. 227 p.

López, E., M. Romero, A. Ortiz y S. Orduz. 1999. Primer registro de *Metarhizium anisopliae* infectando reinas de *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Formicidae) en Colombia. Revista Colombiana de Entomología 25:49-56.

López, E. and S. Orduz. 2003. *Metarhizium anisopliae* and *Trichoderma viridae* for control of nests of the fungus-growing ant, *Atta cephalotes*. Biological Control 27:194-200.

Mcain, J. W. and J. F. Hennen. 1984. Development of the uredinial thallus and soros in the orange rust fungus *Hemileia vastatrix*. Phytopathology 74(6):714-721.

Posada, F. J. 1997. Infección natural causada por el hongo *Metarhizium anisopliae* en la hormiga arriera. CENICAFE (Colombia) 48(3):204-208.

Quinn, J. E. 2012. Sharing a vision for biodiversity conservation and agriculture. Renewable Agriculture and Food Systems 28(01):93-96.

Quiroz-Robledo, L. 1999. Hymenoptera, Formicidae. p. 99-105. *In*: Deloya-López, A. y J. Valenzuela-González (eds.). Catálogo de Insectos y Ácaros Plaga de Cultivos Agrícolas en México. Sociedad Mexicana de Entomología. México.

Ramírez del Ángel, M., M. González C., A. Bello R. y S. Romero B. 2007. Campaña nacional contra la broca del café en México: operación y perspectivas. p. 73-81. *In*: Barrera, J. F., A. García, V. Domínguez y C. Luna (eds.). La Boca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques. Sociedad Mexicana de Entomología. El Colegio de la Frontera Sur. México, D. F.

Ratnadass, A., P. Fernandes, R. Habib and J. Avelino. 2012. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: A review. Agronomy for Sustainable Development 32(1):273-303.

Reid, J. C. and A. Mansingh. 1985. Economic losses due to *Hypothenemus hampei* Ferr. during processing of coffee berries in Jamaica. Tropical Pest Management 31(1):55-59.

Rodrigues, A., A. Silva, M. Bacci Jr, L. C. Forti and F. C. Pagnocca. 2009. Filamentous fungi found on foundress queens of leaf cutting ants (Hymenoptera: Formicidae). Journal of Applied Entomology 134(4):342-345.

Santos, A. V., B. L. de Oliveira and R. I. Samuels. 2007. Selection of entomopathogenic fungi for use in combination with sub-lethal doses of imidacloprid: Perspectives for the control of the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa* Forel (Hymenoptera: Formicidae). Mycopathologia 163(4):233-240.

Schieber, E. and G. A. Zentmyer. 1984. Distribution and spreads of coffee rust in Latin America. p. 1-14. *In*: Fulton, R. H. (ed.). Coffee Rust in the Americas? American Phytopathological Society. Saint Paul, MN, USA.

SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2007. Campaña contra la broca del café. http://senasicaw.senasica.sagarpa.gob.mx/campañas nacionales.html [consultado el 18 de junio de 2013].

Teliz, O. D., G. Castillo-Ponce y D. Nieto-Angel. 1993. La corchosis del cafeto en México. Revista Mexicana de Fitopatología 11:5-12.

Téliz, O. D., D. Nieto A. y G. Castillo P. 1991. La Corchosis del café: síntomas e histopatología. Revista Mexicana de Fitopatología 11:6-12.

Valenzuela-González, J. E., L. Quiroz-Robledo y D. L. Martínez-Tlapa. 2008. Hormigas (insecta: Hymenoptera: Formicidae). p. 107-121. *In*: Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracuz : Bodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología. México, D. F.

Varón-Devia, E. H. V. 2006. Distribution and foraging by the leaf-cutting ant, *Atta cephalotes* L. in coffee plantations with different types of management and landscape context, and alternative to insecticides for its control. Tesis de Doctorado. University of Idaho. College of Graduate Students.Idaho, ID. USA. 130 p.

Vázquez, J. T. 1963. Relaciones suelo-nemátodos. p. 201-203. *In:* Memoria del 1er Congreso Nacional de Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de Ciencia del Suelo. México, D. F.

Vega, F. E. and G. Mercadier. 1998. Insects, coffee and ochra-toxin A. Florida Entomologist 81(4):543-544.

Villain, L., A. Hernández and F. Anzueto. 2008. Central America. p. 261-275. *In:* Souza R. M. (eds.). Plant-Parasitic Nematodes of Coffee. Springer. Netherlands.

Villain, L., P. Baujard, F. Anzueto, A. Hernandez and J. L. Sarah. 2002. Integrated protection of coffee plantings in Central America against nematodes. Plantations recherche développement. Recherche et Caféiculture (special issue):118-133.

Welman, F. L. 1972. Tropical American plant disease (neotropical phytopathology problems). The Scarecrow Press Inc. Metuchen, NJ, USA. 989 p.

Wilson, E. O. 1986. The definig traits of fire ants and leaf-cutting ants. p. 1-3. *In*: Lofgren, C. S. and R. K. Vander-Meer (eds.). Fire Ants and Leaf-Cutting Ants. Westview Press. Boulder, Colorado, USA.

Zadock, J. C. and R. D. Schein. 1979. Epidemiology and plant disease management. Oxford University Press. New York, NY, USA. 427 p.

Zhang, W., T. H. Ricketts, C. Kremen, K. Carney and S. M. Swinton. 2007. Ecosystem services and dis-services to agriculture. Ecological Economics 64(2):253-260.

XV. Biodiversidad en cafetales

Vinicio Sosa Fernández[1], Fabiola López-Barrera[1], Robert Hunter Manson[1], Leonor Jiménez Valdez[1]

[1]Investigador del Instituto de Ecología A.C. Red de Ecología Funcional. vinicio.sosa@inecol.mx

15.1. Introducción

La transformación de paisajes en las regiones tropicales y la intensificación de los monocultivos ha sido una de las principales causas de pérdida de heterogeneidad y estructura de los ecosistemas, así como de la diversidad biológica o biodiversidad (Geist y Lambin, 2002; Guhl, 2004; Rudel *et al.,* 2009; Gibbs *et al.,* 2010). La biodiversidad se puede definir como la gran variedad de especies de seres vivos que viven en el planeta Tierra. Por otra parte, las especies que viven en el mismo lugar e interactúan entre sí y su ambiente físico, mediante el flujo de materia o energía, comprenden los ecosistemas.

La pérdida y degradación de ecosistemas, en combinación con el cambio climático son los retos principales en el desarrollo de estrategias de producción sustentable para tomadores de decisiones en zonas tropicales (Branca *et al.,* 2013). Los cafetales de sombra son capaces de generar ingresos importantes para productores y al mismo tiempo preservar mucha de la biodiversidad y el funcionamiento de los bosques tropicales que han reemplazado (Moguel y Toledo, 1999; Manson *et al.,* 2008a). Los sistemas de café se caracterizan por presentar diversas formas de manejo del dosel y del sotobosque incluyendo el uso de agroquímicos (Hernández-Martínez *et al.,* 2009) y, dependiendo de dicho manejo, pueden ser más amigables con el ambiente y la sociedad en cuanto a la oferta de bienes y servicios ambientales. Teniendo en cuenta la tipología de Moguel y Toledo (1996), creada para los cafetales en México, se pueden identificar cinco tipos de sistemas de producción, basados en el sombrío y el dosel, tres de cafeticultura tradicional (rústico, policultivo tradicional, policultivo comercial) y dos de sistemas intensivos (sombrío de una sola especie y monocultivo sin sombra (Guhl, 2009). La intensificación del sistema de producción de café impacta directamente a la biodiversidad, debido a que va degradando la cobertura vegetal y reduciendo el número de especies animales y vegetales nativas de la zona de plantación.

Sin embargo, en México y otras partes de América Latina se ha demostrado que los cafetales con sombra amortiguan los efectos de la deforestación, lo que permite que se preserve o aumente la biodiversidad nativa, sirviendo de refugio para las especies de plantas, animales y hongos tales como árboles, epífitas, mamíferos, aves, reptiles, anfibios, artrópodos y endomicorrizas, comparado con los monocultivos bajo el sistema intensificado (Moguel y Toledo, 1999; Manson *et al.,* 2008a; Philpott *et al.,* 2008).

Los agroecosistemas de café con vegetación compleja (diversos estratos de vegetación de diversas especies vegetales), ayudan a mantener una alta riqueza de especies, incluso en fincas que se encuentran a grandes distancias de los fragmentos de bosque remanentes, como es el caso de las plantas epífitas en los cafetales conformados en policultivos (Moorhead *et al.,* 2010). Es también uno de los pocos sistemas productivos capaces de sostener una comunidad de mamíferos de muy diversas especies, a pesar de la transformación de la vegetación original, ya que al mantener un estrato de árboles que sirve de sombra al café, se proporciona una buena fuente de alimento, refugio, nidos y protección para los mamíferos. Los mamíferos más susceptibles a desaparecer cuando los bosques se transforman a café, son las especies que dependen de los árboles, principalmente: el oso hormiguero (brazo fuerte), el puercoespín (biztlacuache), el tigrillo, el mapache y el coatí o tejón (Gallina *et al.,* 1996; Faminow y Ariza, 2001). En el caso de las especies de amplia distribución como las aves migratorias (Tejeda-Cruz y Sutherland, 2004), y los murciélagos (Kraker-Castañeda y Pérez-Consuegra, 2011), existen estudios que muestran al café bajo sombra como refugio permanente o de paso para este tipo de animales.

A pesar de su importancia en la conservación de la biodiversidad, los cafetales de sombra en México y América Latina en general, están bajo mucha presión para que aumenten su productividad o sean transformados a otros usos de suelo (Gordon *et al.,* 2007; Perfecto *et al.,* 2007; Guhl, 2008; Rojas *et al.*, 2012). Por ello, es cada vez más importante que los cafeticultores entiendan el papel que juegan las especies de plantas, animales y hongos (incluyendo los microscópicos) que habitan en sus fincas y cómo se puede aprovechar dicha biodiversidad para bajar costos y aumentar fuentes de ingreso en las fincas de café de sombra (Perfecto *et al.,* 2005; Pagiola y Ruthenberg, 2006; Gordon *et al.,* 2007; Jose, 2009). Este capítulo revisa los principales grupos de organismos que viven en cafetales, proporciona herramientas útiles para describir cambios en su

distribución o abundancia, y describe el papel de la biodiversidad en el buen funcionamiento de las fincas de café de sombra. Por último, se establecen algunas estrategias para aprovechar la biodiversidad del cafetal que permitan mejorar la competitividad de este importante sistema agroforestal.

15.2 ¿Cómo se mide la biodiversidad?

La biodiversidad es un concepto cuyo cálculo no tiene unidad de medida universal ni puede considerarse con un único atributo (Moreno, 2001). El término comprende diferentes escalas espaciales, temporales y biológicas. Podemos referirnos a la variabilidad en el contenido genético de los individuos y las poblaciones, al conjunto de especies que integran grupos funcionales y comunidades completas o incluso al conjunto de comunidades de un paisaje o región. Existe en la literatura una amplia gama de herramientas que miden diferentes atributos de la biodiversidad (Magurran, 2004). Es recomendable que para estimar dichos atributos se utilicen herramientas matemáticas que se adecuen a la descripción de nuestro objetivo y población de interés (Moreno, 2001). Se debe resaltar además la importancia de que la toma de datos se base en un diseño de muestreo apropiado (Coddington *et al.,* 1991). Es necesario tener réplicas de cada muestra para poder acompañar el valor de un índice con el de alguna medida de la dispersión de los datos (varianza, desviación estándar o coeficiente de variación), o estimar el valor mínimo y máximo hipotético del índice bajo las condiciones del muestreo. Un aspecto crítico del análisis, es asegurarse de que las réplicas estén apropiadamente dispersas (en el espacio o en el tiempo) y que su selección sea al azar. Esto evita caer en el error de falta de independencia espacial o temporal entre las réplicas que, generalmente hablando de estudios de biodiversidad, son áreas, parcelas, fincas, tipos de vegetación, usos de suelo, etc. La falta de independencia impide conclusiones válidas estadísticamente hablando.

Riqueza y abundancia

La manera más sencilla de medir la biodiversidad es contar el número de especies diferentes (conocida como *riqueza*); también se puede contar el número de individuos de una especie (conocida como *abundancia*) que se encuentran en un área limitada. El ver cómo cambia la riqueza y la abundancia

a través del tiempo o en fincas con diferentes tipos de manejo es útil para detectar cambios que podrían ayudar a evaluar la salud de las poblaciones, comunidades o ecosistemas y desarrollar estrategias de manejo capaces de mantenerlos sanos.

Riqueza específica (*S*). La forma ideal de medir la riqueza específica es contar con un inventario completo que permita conocer el número total de especies (S) obtenido por un censo de la comunidad.

S = Número total de especies

Índice de diversidad de Margalef (D_{Mg}). Transforma el número de especies por muestra a una proporción en la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra.

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N}$$

Donde:
S = número de especies
N = número total de individuos

Funciones de acumulación de especies. Estas funciones son un modelo útil en el análisis de la riqueza específica cuando hacemos un muestreo de áreas relativamente pequeñas, un grupo bien conocido, o ambos, y donde se asume que eventualmente todas las especies serán registradas (Soberón y Llorente, 1993). Conforme la lista de especies aumenta, la probabilidad de añadir una nueva especie a la lista en cierto intervalo de tiempo, disminuye proporcionalmente con el tamaño actual de la lista, hasta que eventualmente alcanza cero.

Para evaluar la calidad del muestro se debe encontrar una función que describa su curva de acumulación. Se han propuesto varias funciones diferentes para modelar la relación entre el esfuerzo de muestreo y el número de especies encontrado, siendo las más utilizadas, la función exponencial negativa y la ecuación de Clench (Moreno y Halffter, 2000).

La ecuación de Clench muestra un buen ajuste en la mayoría de las situaciones y para la mayoría de los taxones, además, es recomendable para estudios en sitios de áreas extensas. Su expresión matemática es:

$$S_n = a \cdot n/(1+b \cdot n)$$

El modelo exponencial negativo se recomienda usar si la zona de muestreo es relativamente pequeña o el grupo taxonómico es bien conocido y todas las especies tienen una alta probabilidad de ser encontradas (para varios ejemplos del uso de estos modelos ver Manson *et al.*, 2008a).

$$S_n = a/b\left[1-\exp\left(-b \cdot n\right)\right]$$

En ambas funciones

a = la tasa de incremento de las nuevas especies al comienzo del inventario (especies por unidad de muestreo).

b = otro parámetro de la curva; y *a*/*b* = asíntota de la curva = número total de especies esperado

n = número de unidades de esfuerzo de muestreo.

Es posible que una comunidad de organismos que está siendo perturbada o estresada (por ejemplo, a causa de la deforestación), no muestre cambios en el número de especies que la conforman, sino más bien en la especie que está dominando la comunidad; en otras palabras, que haya más individuos de una especie de la que antes no había tantos, porque las nuevas condiciones (como la presencia de mucha luz o pastos por haber talado los árboles) les ayudan a aumentar su población respecto a las de otras especies. En este capítulo se muestran dos índices frecuentemente utilizados para calcular la dominancia y la equitatividad de las especies en una comunidad; sin embargo, sugerimos hacer una revisión más profunda en Moreno (2001) y Magurran (2004) sobre la variedad de índices existentes y sus supuestos matemáticos. Los índices de dominancia son parámetros inversos al concepto de uniformidad o equitatividad de la comunidad. Éstos toman en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies.

Índice de dominancia de Simpson λ:

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Donde:

p_i = abundancia proporcional de la especie *i*, es decir, el número de individuos de la especie *i* dividido entre el total de individuos de todas las especies en la muestra.

Este índice manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie.

Índice de equidad de Shannon. Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de *S*, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Moreno, 2001).

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Recientemente, Jost (2006) ha dado argumentos teóricos para usar mejor el exponencial del Índice de Shannon, exp (H').

Recambio de especies

Otro aspecto importante en el tema de la biodiversidad, es el recambio o sustitución de las especies entre fragmentos o hábitats del mismo ecosistema. Por ejemplo, las comunidades que hay en cada fragmento de bosque de niebla son muy diferentes entre ellas, lo que significa que, si se suman todas las especies de los distintos fragmentos, se encuentra que es un ecosistema con un gran número de especies (Williams-Linera, 2002). A esto se le llama complementariedad, es decir, que cada tipo de vegetación y fragmentos en el paisaje son complementarios de la riqueza de especies, al aportar cada uno una parte del total de especies de una vasta región. En un estudio realizado en el centro del estado de Veracruz, México, se notó el alto grado de complementariedad entre fincas de café, y por eso el papel único de cada una en la conservación de la biodiversidad regional o biodiversidad gama (Manson *et al.,* 2008a). Para obtener el valor de complementariedad se calcula lo siguiente:

1. La riqueza total para ambos sitios combinados es:

$$S_{AB} = a + b - c$$

Donde *a* es el número de especies en el sitio A, *b* es el número de especies en el sitio B y *c* es el número de especies en común entre los sitios A y B.

2. El número de especies únicas a cualquiera de los dos sitios:

$$U_{AB} = a + b - 2c$$

3. A partir de estos valores calculamos la complementariedad de los sitios A y B como:

$$C_{AB} = \frac{U_{AB}}{S_{AB}}$$

La complementariedad varía desde cero, cuando ambos sitios son idénticos en composición de especies, hasta uno, cuando las especies de ambos sitios son completamente distintas (Moreno, 2001).

En la actualidad existen disponibles varios paquetes de software, que realizan la mayoría de estos cálculos y otros relacionados con la medición de la biodiversidad en forma automática, ya sea usando algunos de estos índices o bien procedimientos no paramétricos de aleatorización y remuestreo.

Por lo general, los datos que se alimentan para que lo hagan, consisten en una matriz de abundancias o presencia-ausencia de especies, donde las filas son las especies de un grupo de organismos encontradas mediante algún método de muestreo estándar y las columnas son sitios, parcelas, localidades, etc. donde se ha muestreado. Si bien estos paquetes facilitan el cálculo de índices de diversidad y similitud en la composición específica entre sitios, siempre deben conocerse los supuestos y requerimientos mínimos que hacen válido el uso de esos índices, para evitar el mal uso o abuso del software como en el caso de cualquier paquete diseñado para análisis estadísticos. Entre los más recurridos por su utilidad y versatilidad están los programas EstimateS, R rich, Diversity, BIODIV y Past. Los dos primeros son de acceso libre en la red.

Finalmente, es importante considerar no sólo el número total de especies en un ecosistema, sino también el número de grupos funcionales que en conjunto forman a la diversidad funcional (Martín-López *et al.,* 2007). Por ejemplo, las especies polinizadoras son un grupo muy importante porque tienen la función de transportar el polen de unas flores a otras y gracias a ellas muchas plantas pueden reproducirse, y así, se tiene comida en nuestras mesas. Otro grupo de especies que aumenta la diversidad funcional en ecosistemas tropicales y subtropicales es el de los dispersores de semillas.

15.3. La biodiversidad que habita en los cafetales

En las fincas de café de la zona central montañosa de Veracruz se han estudiado 12 grupos representativos dentro de la gran variedad de organismos existentes (animales, plantas y hongos), así como de diferentes grupos funcionales en el ecosistema. Hasta el momento, en las fincas de café de esta zona se ha registrado un total de 2,197 especies, pero este número es conservador, ya que las especies de algunos grupos multidiversos (que tienen siempre muchas especies) como los insectos, todavía están siendo identificadas (ver Figura 15.1).

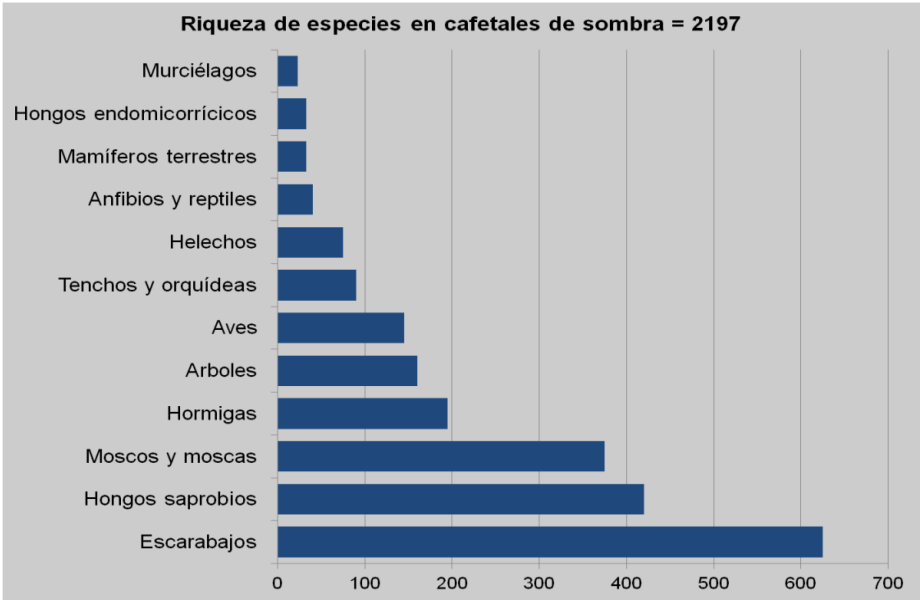


Figura 15.1. Biodiversidad en los cafetales de la Zona Central montañosa de Veracruz.

Si además se agregaran las especies microscópicas que viven en el suelo y otros grupos de insectos aún no evaluados, como el de las mariposas (lepidópteros), seguramente la biodiversidad de una finca de café rebasaría las 10,000 especies.

Los sistemas agroforestales de café conservan una buena parte de la biodiversidad de los bosques que reemplazaron. Estudios realizados en la región indican que la riqueza o número de especies existentes en las fincas de café es 87% de la riqueza existente en el bosque de niebla, y que lo que protege esa biodiversidad es el conjunto de especies de árboles de troncos más anchos y con mayor altura (Manson *et al.,* 2008b). O sea, que en general, entre más árboles y de mayor talla haya en una finca, más biodiversidad habrá; lo anterior es útil si el productor quiere buscar ciertas certificaciones y sellos verdes, como se explica más adelante.

Las plantas

Árboles. Los cafetales bajo sombra son agrosistemas en los que se mantiene una estructura arbolada, ya sea del bosque original o de especies introducidas. Los árboles que sobresalen en altura a los cafetos son utilizados como sombra permitiendo así mejorar el rendimiento del cultivo, además de tener muchos otros usos para los productores y sus familias (Moguel y Toledo, 1999; Muschler, 1999; Méndez y Bacon, 2005). En cafetales veracruzanos se han encontrado alrededor de 107 especies de árboles de sombra: 83 nativas y 24 no nativas (López-Gómez *et al.,* 2008). Además de servir como sombra para el cultivo, los árboles forman la estructura y el ambiente apropiado para proveer un refugio a diversos organismos tanto vegetales (hierbas del sotobosque, epífitas y helechos), como animales vertebrados (mamíferos, aves, anfibios, reptiles), artrópodos y otros invertebrados. También mejoran la fertilidad del suelo, al aportarle materia orgánica y hojarasca y limitan el crecimiento de malezas; finalmente, contribuyen a la conservación de agua y suelo y a la regulación de la temperatura, la humedad y el viento, ofreciendo microambientes donde pueden mantenerse los diversos organismos. Los cafetales bajo sombra conservan parte de la biodiversidad de árboles nativos a nivel regional, lo que los hace más importantes en términos de conservación. Las especies más frecuentes son *Inga vera* (vainillo, chalahuite) (Figura 15.2), *I. jinicuil* (jinicuil), *Citrus* spp. (cítricos), *Trema micrantha* (ixpepe), *Enterolobium cyclocarpum*

(nacaxtle, orejón), *Heliocarpus donnellsmithii* (jonote), *I. latibracteata* (chalahuite) y *Alchornea latifolia* (carne de caballo).

Figura 15.2. Flor del chalahuite (*Inga vera*), especie de árbol común en el sombreado de los cafetales del centro de Veracruz.

Epífitas. Uno de los componentes más característicos y llamativos del bosque de niebla y de las fincas de café son las plantas epífitas. Las epífitas son plantas que se desarrollan sobre otras plantas, generalmente árboles, sin obtener agua o nutrientes de tejidos vivos; o sea, que no son parásitas de los árboles, como lo es la corrihuela o muérdago. Ejemplos de plantas epífitas incluyen la mayoría de las orquídeas, tenchos (bromelias) (Figura 15.3), helechos, musgos y hepáticas. En los cafetales se han contado hasta 27 especies de tenchos y otras epífitas (sin incluir las orquídeas) y 51 especies de orquídeas, comparadas con 25 y 40 especies respectivamente, registradas en el bosque mesófilo de montaña o simplemente bosque de niebla. Además del valor de su belleza, al caer al suelo y degradarse, las epífitas contribuyen al ciclaje de nutrimentos dentro del sistema forestal y es muy probable que también lo hagan de forma importante en los cafetales. Las epífitas tienen una enorme capacidad para almacenar agua

y, por tanto, crean humedad ambiental y proveen hábitat para varias especies de organismos que las utilizan como fuente de alimento, mientras que otros se sirven de ellas para habitarlas (Benzing, 1995). La destrucción de su hábitat y la colecta desmedida de orquídeas y bromelias con fines comerciales y ceremoniales (por ejemplo, para las fiestas patronales) amenaza la persistencia de sus poblaciones y la de muchas especies de animales que dentro de ellas viven, o que de ellas se alimentan. En los cafetales, prácticas como el destenche ocasionan una desaparición en cadena de muchas especies ya que, por un lado, estas plantas mantienen pequeños microhábitats que albergan un gran número de especies de invertebrados, y por otro lado, producen recursos alimenticios como néctar y frutos que mantienen otra gran diversidad de organismos; muchos de ellos, prestan servicios importantes como la polinización y la regulación de plagas dentro del cultivo. Actualmente se hacen estudios para el aprovechamiento sustentable de algunas especies de tenchos y orquídeas presentes en las fincas de café (Toledo-Aceves *et al.*, 2013; ver Capítulo X en esta obra).

Figura 15.3. *Tillandsia ionantha*. Bromelia epífita (foto S. Gallina).

Helechos. Los helechos son plantas que no tienen flores ni semillas y se reproducen por esporas dispersadas por el viento. Comprenden alrededor de 10,000 especies en el mundo y en México existen aproximadamente 1,000 especies. Los helechos son más diversos donde predomina el bosque de neblina. En México, muchos de estos bosques son modificados y reemplazados por pastizales, cultivos de caña y cafetales. En cafetales se han inventariado 14 especies de helechos exclusivas de las fincas de café, 41 presentes sólo en los bosques de niebla y 18 que existen tanto en fincas como en bosque. Los policultivos diversos conservan entre 17 y 21 especies. En general, los cafetales de sombra albergan una tercera parte de la diversidad de helechos del bosque original (Mehltreter, 2008). Las especies más comunes de los cafetales son helechos que requieren más luz y que se desarrollan como epífitas sobre árboles aislados (por ejemplo, *Polypodium pyrrholepis*) (Figura 15.4), o en claros o áreas perturbadas (por ejemplo, *Thelypteris imbricata*, *T. tetragona*).

Figura 15.4. *Polypodium rhodopleuron*, helecho con hojas jóvenes rojas (foto K. Mehltreter, 2008).

Especies menos abundantes pueden ser remanentes de la vegetación original (por ejemplo, *Adiantopsis radiata*, *Anogramma leptophylla*, *Asplenium pumilum*).

Dado que la mayoría de los helechos del bosque mesófilo de montaña son demasiado sensibles para sobrevivir en los cafetales, su ausencia puede ser un indicador del deterioro florístico que resulta por un manejo intenso del agroecosistema (Tejeda-Cruz *et al.,* 2008). Los cafetales manejados de manera orgánica sin uso de agroquímicos, que mantienen árboles viejos y de gran estatura, y que además mantienen una cobertura de diferentes especies de árboles de sombra, permiten conservar una alta diversidad de helechos.

Los insectos

Los insectos son el grupo de organismos más abundante y más diverso presente en los cafetales.

Coleópteros. Este grupo abarca a los escarabajos, gorgojos, picudos, mariquitas, mayates y otros muchos insectos. Los escarabajos son reconocidos como uno de los principales grupos de coleópteros, pues tan sólo en México se han identificado poco más de 1,600 especies distribuidas en diversos tipos de ambientes. La mayoría de los escarabajos se alimentan de plantas; muchas especies pueden ser plagas de los cultivos, siendo las larvas quienes causan la mayor parte de los daños agrícolas y forestales. A nivel mundial y casi en cualquier ecosistema, este grupo es el que mayor número de especies tiene. Ellos presentan una enorme diversidad de formas y ocupan virtualmente cualquier hábitat. Pueden vivir bajo las piedras, en el follaje, en los tallos, flores y frutos de las plantas, en el suelo, entre la hojarasca y sobre o bajo la superficie del agua o la tierra. Se sabe que tanto larvas como adultos de muchas especies contribuyen al procesamiento del sustrato y en el reciclaje de nutrientes. Por ejemplo, en las zonas tropicales son el principal grupo de insectos que utiliza estiércol, carroña e inclusive frutos en descomposición como fuente de alimentación y reproducción; de esta manera son elementos importantes en las redes tróficas y en la dinámica de los ecosistemas. En conjunto, las fincas de café y los fragmentos de bosque albergan 61 familias con 626 especies (Deloya y Ordóñez, 2008). El número de familias tiende a disminuir conforme la estructura

del sombreado es más simple. Esto quizás asociado al mayor uso de agroquímicos.

Estudios realizados en Chiapas y otras regiones de América Latina han mostrado que el control de la plaga de la broca del café, un escarabajo muy pequeño (Figura 15.5) que pasa la mayor parte de su ciclo de vida en la fruta del café, se puede eficientar con mayor diversidad de árboles (Soto Pinto *et al.,* 2002; Altieri y Nicholls, 2007) y también con la ayuda de otros elementos de la biodiversidad como las hormigas (Larsen y Philpott, 2010) o los hongos (Posada *et al.,* 2004).

Figura 15.5. *Hypothenemus hampei* "broca del cafeto". Es una de las principales plagas del café, ya que sus larvas se alimentan barrenando las semillas (Foto V. Hernández-Ortiz).

Moscas y mosquitos. Agrupados dentro del orden Diptera se encuentran especies de moscas y mosquitos, que pueden ser degradadoras de restos vegetales y animales, depredadoras y parasitoides (Figura 15.6), que funcionan como controladores naturales de otros bichos (artrópodos); otras especies actúan como polinizadores o como vectores que transmiten enfermedades. La mayoría de estos insectos vive en diferentes estratos del dosel de los árboles, pero también en el suelo. En cafetales del centro de Veracruz se ha observado

que la riqueza de este grupo en ambientes de dosel es ligeramente mayor en primavera y verano, mientras que en el suelo es más fluctuante a lo largo del año, siendo más abundantes a finales del verano. La abundancia y riqueza de los organismos de este grupo están fuertemente favorecidas por el microclima generado por el dosel y por la micro-estructura vegetal de las fincas, por ejemplo, la diversidad y cobertura de herbáceas y su permanencia a lo largo del año. Por ser tan grande, la diversidad de este grupo y el de los escarabajos frecuentemente se evalúa con el número de familias o géneros. Para tener diversidad de este grupo de animales, se recomienda mantener mayor cobertura y diversidad de sombra, incluyendo árboles frutales (Hernández-Ortiz y Dzul-Cauich, 2008).

Figura 15.6. Tachinidae (Diptera). Estas moscas son uno de los grupos más importantes en los cafetales, al actuar como parasitoides de otros insectos (Foto V. Hernández-Ortiz).

Hormigas. Las hormigas son uno de los grupos animales más abundantes en muchos de los ecosistemas terrestres. Pertenecen a la familia Formicidae, dentro de la cual se han descrito aproximadamente 11,000 especies. Viven en

casi todos los ambientes desde el subsuelo hasta la copa de los árboles, aunque la mayoría de las especies viven en nidos subterráneos. Las principales fuentes de alimento de las hormigas son semillas, néctar, hongos, cadáveres y presas vivas de diversos artrópodos. Las hormigas tienen alto impacto en la estructuración de las comunidades vegetales, pues muchas de ellas son importantes depredadoras y dispersoras de semillas. También juegan un papel importante en la modificación de las propiedades físicas del suelo, pues influyen en el aumento de la porosidad y en la infiltración del agua a profundidades que sobrepasan los 2 metros, incrementando la disponibilidad de agua, nutrimentos y la actividad microbiana.

Debido a su carácter depredador, las hormigas son muy importantes reguladoras de las poblaciones de insectos, por lo que en los cultivos pueden llegar a ser un factor crucial en el control biológico de plagas. Además, por su rápida respuesta a cambios ambientales, las hormigas pueden ser buenas bioindicadoras del estado de diversos ecosistemas; por ejemplo, en agrosistemas como los cafetales, se ha encontrado que la riqueza de este grupo aumenta con el incremento de la complejidad de la estructura arbórea y con la baja intensidad en el uso de agroquímicos, como los insecticidas (Philpott *et al.,* 2008; Valenzuela-González *et al.,* 2008) (Figura 15.7).

Figura 15.7. El género *Camponotus* (Hymenoptera, Formicidae) constituye uno de los grupos de hormigas con mayor número de especies presentes en los cafetales y el bosque (Foto L. Quiroz).

Los animales vertebrados

Anfibios y reptiles. La herpetofauna de México está constituida por 360 especies de anfibios y 804 de reptiles, de las cuales aproximadamente un 60% son endémicas. México se considera el quinto país con mayor diversidad de anfibios en el mundo y el segundo con mayor diversidad de reptiles. La mayoría de las especies de anfibios y reptiles no son fáciles de ver en campo por su tamaño pequeño, coloración críptica y estilos de vida (viven generalmente ocultos bajo rocas, troncos caídos, bajo el suelo, o en sitios de difícil acceso). Su actividad es frecuentemente irregular y altamente correlacionada con condiciones muy específicas de temperatura y precipitación. Los anfibios conforman un grupo de animales que se caracteriza por pasar su vida entre el agua y la tierra; algunas especies secretan sustancias tóxicas que amedrentan a sus depredadores. Dentro de los anfibios se pueden encontrar a los sapos, ranas y salamandras (tlaconetes), entre otros (Figura 15.8).

Figura 15.8. *Ecnomiohyla miotympanum* "ranita verde". Es una rana arborícola muy común en los cafetales y zonas alteradas; se reproduce en charcos y arroyos (Foto R. Murrieta-Galindo).

Debido a su alta sensibilidad a los cambios o modificaciones ambientales, se ha identificado a los anfibios como indicadores biológicos de perturbación. Los reptiles en cambio, son vertebrados con piel escamosa, seca, queratinizada y gruesa. Algunas especies son completamente terrestres y otras pueden estar

constantemente en el agua. Dentro de este grupo podemos encontrar a las lagartijas, serpientes y tortugas. En los bosques mesófilos que han sido tranformados a cafetales se ha notado que aquellos sujetos a los diferentes manejos permiten mantener parte de la herpetofauna original; por ejemplo, se han reportado 28 especies en cafetales rústicos tradicionales (González-Romero y Murrieta-Galindo, 2008).

En un estudio reciente, Murrieta-Galindo *et al.* (2013a; b) reportaron que la diversidad de anfibios se incrementa conforme los cafetales tienen más estratos de vegetación y de más diversas especies. Además, las fincas de café pueden crear zonas de amortiguamiento para anfibios, aumentando la calidad de su hábitat en fragmentos de bosque aledaños (Santos-Barrera y Urbina-Cardona, 2011). Es importante tomar conciencia sobre la importancia y beneficios que proporciona esta fauna al ecosistema. Muchas especies de anfibios y reptiles son importantes como presas para depredadores en un nivel trófico mayor, otras destacan por regular y controlar las poblaciones de una gran cantidad de insectos (himenópteros, ortópteros, coleópteros, entre otros), los cuales pueden llegar a ser plaga en los cultivos si la herpetofauna se viera erradicada.

Aves. Las aves son organismos conspicuos y fácilmente distinguibles debido a su capacidad de volar, sus colores, formas, tamaños y su comportamiento. Este grupo de vertebrados terrestres habita prácticamente todos los ecosistemas naturales, incluso sitios como las grandes ciudades, con todo y su contaminación y ruido. México presenta una alta riqueza de especies de aves que lo ubica en el décimo lugar a nivel mundial, con un total de 1,050 especies. De éstas, 104 especies son exclusivas del país (endémicas). En Veracruz se han reportado 703 especies, lo que representa el 65% de la avifauna mexicana.

Las aves también han destacado por una variedad de funciones ecológicas; por ejemplo, algunas aves como los colibríes al alimentarse del néctar de las flores se impregnan de polen, que llevan de una flor a otra, polinizándolas cada vez que se alimenta. Otras aves son reconocidas por su importante papel como dispersoras de semillas, pues se alimentan de frutos o semillas, que al ser tragados viajan en el tracto digestivo de las aves y muchas son depositadas en sitios donde pueden germinar. También se reconoce la importancia de las aves como controladores de plagas; por ejemplo, las aves rapaces cazan y se alimentan de muchos de los mamíferos pequeños (ratones) que constituyen

plagas; otras atrapan insectos o larvas de plagas que atacan cultivos, por lo que se les conoce como “plaguicidas” naturales.

Actualmente, la deforestación y el cambio de uso de suelo han disminuido el hábitat natural de las aves. Sin embargo, se ha propuesto que uno de los agrosistemas que ha amortiguado dicha disminución de hábitat son los cafetales bajo sombra. En áreas montañosas de Veracruz se ha observado que la avifauna encontrada en este tipo de cultivos, comparados con otros, tienen un mayor parecido con la de los bosques originales de la región, lo cual ha llevado a pensar que los cafetales bajo sombra han funcionado como refugios para muchas especies de aves; por ejemplo, se registraron entre 80 y 87 especies de aves en los cafetales de sombra del centro de Veracruz (Tejeda-Cruz y Gordon, 2008). Las aves son un recurso económico para el ecoturismo, ya que son buscadas por los observadores de aves (Figura 15.9).

Figura 15.9. *Trogon violaceus*, ave relativamente común en cafetales de sombra diversificada (G. Alducín Chávez).

Mamíferos medianos y pequeños. Los mamíferos son animales vertebrados de cuatro extremidades con pelo y con glándulas mamarias, las cuales son capaces de segregar leche, alimento del cual se abastecen todas las crías. En la actualidad, los mamíferos constituyen un grupo muy diversificado. México ocupa el tercer lugar a nivel mundial en diversidad de mamíferos con 525 especies y el segundo lugar (161 especies) en especies endémicas, es decir, que sólo se encuentran en nuestro país. De la diversidad total de los mamíferos terrestres no voladores de México de menor y mediana talla, han destacado los roedores y lagomorfos.

Los mamíferos es un grupo importante en la dispersión de semillas, función que está en riesgo pues mucha de la mastofauna se encuentra bajo grandes presiones que amenazan su supervivencia a muy corto plazo. Esto se debe principalmente a la destrucción y pérdida del hábitat y a la sobreexplotación de aquellas especies que tienen algún valor comercial para el hombre. En muchos casos, la cacería desmedida con fines de "entretenimiento" ha sido una de las principales amenazas para la supervivencia de los mamíferos. A pesar de la tremenda transformación del ecosistema, algunas especies de mamíferos han logrado mantenerse dentro de los sistemas agrícolas y ganaderos que suplantan su hábitat natural. Por ejemplo, un estudio llevado a cabo en cafetales del centro de Veracruz ha registrado en total 33 especies de mamíferos pequeños y medianos que representa el 60% de las 55 especies de mamíferos terrestres no voladores que han sido reportados para el bosque mesófilo de la zona (Gallina *et al.,* 2008).

En sistemas cafetaleros se ha detectado que el manejo intensificado en cafetales, como es el uso de agroquímicos, chapeo intensivo y poca cobertura arbórea, tiene un efecto negativo en especies de mamíferos medianos. Mientras tanto, la cacería y la proliferación de perros ferales es la principal amenaza para especies como el armadillo o toche, el tlacuache y el conejo. En cafetales donde se prohíbe la cacería y se fomenta el cuidado de la biodiversidad es fácil observar directamente o a través de rastros a zorras, armadillos, zorrillos, tlacuaches, cuatro ojos (Figura 15.10), cacomixtles, martuchas, biztlacuaches, brazo-fuertes, ardillas, conejos y seretes.

Figura 15.10. *Philander opossum* "tlacuache cuatro ojos". Marsupial también conocido localmente como "chipe", es una especie rara que ha sido afectada por la destrucción de su hábitat (Foto A. González-Romero).

Murciélagos. Los murciélagos son los únicos mamíferos que pueden volar. Se caracterizan por ser de tamaño pequeño, hábitos nocturnos y el uso de un sistema de radar llamado ecolocación, el cual funciona al emitir ondas de alta frecuencia que chocan contra objetos y presas, y que al regresar son percibidas auditivamente. La mayoría de los murciélagos pasan las horas de luz del día en cuevas u otros refugios como grietas, troncos huecos, hojas de palma, ramas de árboles, o edificaciones.

México cuenta con 140 especies de murciélagos, 93 de las cuales han sido registradas en el estado de Veracruz. De todas las especies presentes en México, 15 son endémicas. La mayoría de las especies son insectívoras, pero otras se alimentan de frutos, de néctar, de polen, de pequeños vertebrados e incluso sangre de mamíferos y aves. Debido a esta gran diversidad de dietas, los murciélagos brindan importantes servicios ambientales, como: la dispersión de semillas, la polinización, la regulación del tamaño de las poblaciones de insectos

(incluyendo especies plaga de cafetales) (Guevara y Sainoz, 2012), el mantenimiento de las cadenas alimentarias y la producción de guano, útil como fertilizante.

En los cafetales de la región central montañosa de Veracruz se han reportado alrededor de 26 especies de murciélagos, la mayoría frugívoras (Figura 15.11) y en menor número nectarívoras e insectívoras, además de una especie sanguívora (Sosa *et al.,* 2008). Al parecer, estos mamíferos vuelan hacia los cafetales en búsqueda de alimento. En estos agrosistemas se ha observado que la riqueza de murciélagos no es muy diferente de la hallada en la vegetación boscosa original, pero su abundancia sí es menor, aunque esto depende del tipo e intensidad de manejo del cafetal, y de la riqueza de plantas leñosas y la variedad de recursos alimentarios (frutos, polen y néctar).

Figura 15.11. El murciélago frugívoro *Centurio senex* es un murciélago raro presente en las fincas de café, pero que puede ser abundante local y estacionalmente (Foto J. M. Pech).

Con el fin de preservar a los quirópteros en agrosistemas como el cafetalero, es importante fomentar fincas con mayor número de especies de plantas leñosas con mayor diámetro y altura. Es necesario también fomentar cafetales con manejo rústico o de sombra. Finalmente es muy importante informar a la población de los servicios ecosistémicos que brindan los quirópteros y difundir programas de información sobre la incidencia real de vampiros en la zona cafetalera y los métodos apropiados de combate. El vampiro es el único murciélago perjudicial y sólo para la ganadería. El resto de las especies brindan servicios benéficos.

Hongos saprobios y endomicorrizógenos. Los hongos constituyen uno de los grupos de organismos del suelo de mayor diversidad y funcionalidad para los ecosistemas. Muchos de los hongos del suelo son saprobios, es decir, obtienen sus nutrimentos a partir de materiales orgánicos inertes como restos vegetales y animales. Este grupo de hongos intervienen en la mineralización de los restos vegetales para que puedan posteriormente formar parte del humus. Mediante este proceso, aportan importantes cantidades de CO_2 a la atmósfera, eliminan los desechos de los ecosistemas y promueven el reciclaje de elementos esenciales para el crecimiento de las plantas. Las moléculas liberadas al suelo mediante este proceso de descomposición son absorbidas por las raíces e incorporadas al metabolismo vegetal. Así, los hongos saprobios cumplen una función ecológica de la mayor relevancia pues garantizan la recirculación de sustancias nutritivas derivadas de la materia muerta.

Otro importante grupo de hongos son los simbiontes, especies que forman micorrizas (asociaciones entre determinadas especies de hongos con las raíces de las plantas). Las micorrizas están presentes en el 90% de las plantas terrestres (Figura 15.12). De acuerdo con su morfología y fisiología se distinguen siete tipos de micorrizas, entre las cuales, las formas arbusculares o endomicorrizas son las más ampliamente distribuidas, por lo tanto, son las de mayor impacto en la naturaleza y en la agricultura. Estas estructuras actúan como órgano de absorción, acumulación y traslocación de agua y nutrientes tomados del suelo hacia la planta, de tal manera, que pueden ejercer una función protectora sobre ésta, pues se ha comprobado que las endomicorrizas también les confieren a las plantas resistencia al estrés hídrico y protección contra patógenos.

Ambos grupos de hongos saprobios y endomicorrízicos constituyen una maquinaria importante en la dinámica de suelos y de la vegetación que surge. En agrosistemas como el cafetalero desarrollado en bosques mesófilos del centro de Veracruz se ha reportado que el 50% de las especies del bosque de niebla pueden conservarse en cafetales con sombra (Heredia y Arias, 2008) y que la aplicación inadecuada de fertilizantes y plaguicidas tiene un efecto negativo en la abundancia de los hongos endomicorrizógenos y cambios en la composición de especies de hongos saprobios (Oehl *et al.,* 2004). Este tipo de manejo no sólo ha afectado a la micobiota sino también a las plantas que dependen de su presencia.

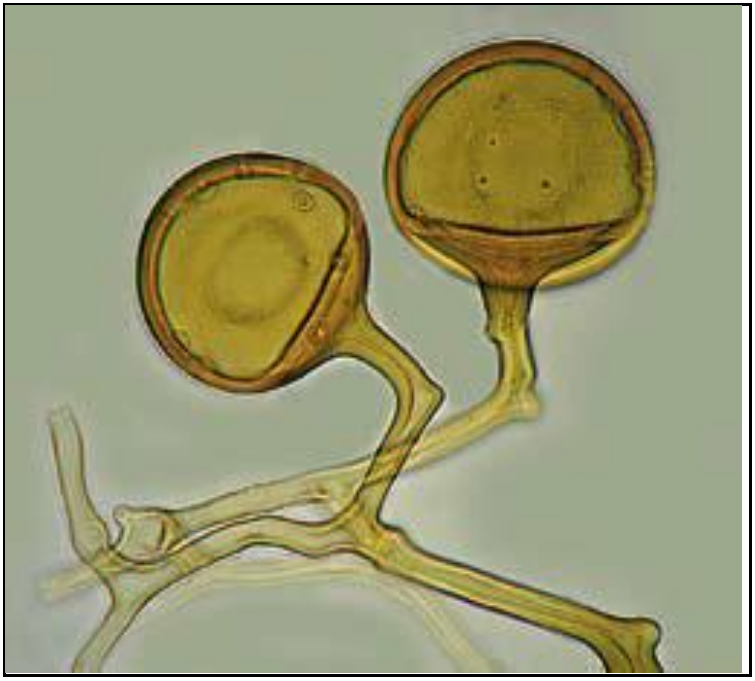


Figura 15.12. *Glomus intraradices*. Especie endomicorrizógena muy abundante en las fincas con sombra especializada (Foto G. Heredia).

15.4 ¿Por qué es bueno conservar la biodiversidad en fincas?

Además de que la conservación de la biodiversidad redunda en ecosistemas más estables que proporcionan una serie de servicios ambientales a toda la

sociedad como son el secuestro de carbono, el mantenimiento de la fertilidad del suelo, la supresión de brotes de plagas, la dispersión de semillas, la polinización de plantas incluido el cafeto, el potencial de regeneración de los bosques, etc., la conservación de la biodiversidad en las fincas de café es conveniente porque permite a los productores de de este cultivo acceder a otros beneficios económicos, como es el pago por servicios ambientales, el concurso por certificaciones relacionadas con café sustentable o amigable con el medio ambiente, el desarrollo de ecoturismo, o el aprovechamiento de nuevos productos como especies maderables y plantas de ornato.

Pagos por servicios ambientales

Al reconocer el hecho de que las fincas de café de sombra proporcionan múltiples servicios ambientales importantes, cada vez existen más iniciativas que buscan incentivar a los productores de café que implementan prácticas de manejo sustentables en sus fincas. Entre los mecanismos financieros disponibles para el Pago por Servicios Ambientales (PSA) a los productores de café en México, están los apoyos proporcionados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en sus convocatorias anuales de apoyo. Estas convocatorias incluyen programas de PSA que reconocen y compensan a dueños de predios cafetaleros, dentro del rubro de “conservación de la biodiversidad”, clasificando a las fincas de café como sistemas agroforestales con cultivos bajo sombra, en contratos de cinco años y pagando al productor unos $400.00 por hectárea por año. Los productores interesados tienen que reunir por lo menos 200 ha y en caso de ser varios dueños, someter sus documentos como grupo. Debido a que estos requisitos pueden ser complejos, los productores pueden buscar y establecer contratos con gestores o técnicos autorizados, para que estos les asesoren y guíen al preparar y someter la documentación requerida por las convocatorias. Dentro de los requisitos establecidos en las Reglas de Operación, en el primer año de apoyo los productores deben elaborar y entregar a la CONAFOR un Programa de Mejores Prácticas de Manejo (PMPM). El PMPM, tiene como objetivo planificar las actividades de conservación de los ecosistemas forestales, con el fin de mantener o mejorar la provisión de los servicios ambientales (servicios hidrológicos, conservación de la biodiversidad, etc.) dentro de las áreas incorporadas a este concepto de apoyo. Las actividades y estrategias que se propongan en el PMPM, deben ser viables técnica y económicamente acordes

con la realidad física y social del predio y estar encaminadas a proteger, preservar o mejorar la provisión del servicio ambiental del que se trate. Las comunidades, ejidos y agrupaciones de pequeños propietarios, deberán realizar su PMPM por medio de un proceso de planeación participativa, decidiendo y otorgando el visto bueno a las acciones que se realizarán en el predio, con el apoyo de su técnico.

Es importante notar que, en la convocatoria de 2011, no se dieron apoyos para la conservación de la biodiversidad en general, y los sistemas agroforestales en particular. En 2010, en el estado de Veracruz hubo unas 20 agrupaciones de productores que sumaban cerca de seis mil hectáreas que recibieron apoyos de ProÁrbol. Sin embargo, en años recientes, la CONAFOR ha dado prioridad a los servicios hidrológicos, sobre los de conservación de la biodiversidad, canalizando el doble de apoyos a este rubro.

Otra opción de apoyo a cafeticultores de la CONAFOR es a través del Programa de Fondos Concurrentes. Este programa convoca a diversas instituciones gubernamentales, organizaciones del sector privado o de la sociedad civil y a personas físicas y morales, interesadas en aportar recursos financieros para que por medio de un convenio se aporten fondos mixtos para el pago a proveedores de servicios ambientales en combinación con una fuente local de financiamiento. En el esquema de Fondos Concurrentes, la CONAFOR puede aportar hasta la mitad del dinero necesario para crear o fortalecer un mecanismo local de pago por servicios ambientales por un periodo mínimo de cinco y máximo de 15 años. Ya que se trata de múltiples fuentes de financiamiento, los apoyos de este programa podrían rebasar fácilmente los montos del apoyo de PSA. Además, se podría otorgar el pago por varios servicios ambientales y tipos de uso de suelo, haciendo que ésta sea una opción atractiva para productores en la región centro de Veracruz. Ejemplo del mismo son los recientes aportes a cafetaleros de Coatepec, a través del programa de PSA local FIDECOAGUA.

Estudios recientes muestran que las fincas de café de sombra pueden funcionar como importantes sumideros de carbono, el componente principal del gas de invernadero más importante a nivel mundial, el dióxido de carbono, causante del cambio climático global (Montagnini y Nair, 2004). En estos estudios se demostró que las fincas rústicas y policultivos tradicionales pueden capturar

cantidades de carbono iguales y hasta mayores que los bosques aledaños. Ya que el aumento de la sombra en fincas de café sería una de las principales estrategias para lograr un manejo más sustentable y mitigar los efectos adversos del cambio climático (un clima más seco con temperaturas más altas) previstos en las zonas cafetaleras de Veracruz, los productores podrían protegerse del cambio climático y al mismo tiempo beneficiarse de los nuevos mercados que se han creado para promover el secuestro de carbono a nivel mundial.

Existen tanto mercados privados como públicos capaces de incentivar a dueños de predios que capturen grandes cantidades de carbono o en riesgo de ser convertidos a otros usos de suelo donde se liberaría mucho de este gas invernadero, como, por ejemplo, cultivos de caña. Sin embargo, debido a que las mediciones y monitoreos científicos requeridos son muy complejos, hasta la fecha sólo existen pequeños mercados privados en ciertas zonas de México que pagan por este servicio ambiental. Basados en cifras de estos mercados y en las tasas de secuestro de carbono observados en las fincas del centro del estado de Veracruz, los cafeticultores podrían esperar ganancias de entre $279.00 y $2,218.00 ha^{-1} $año^{-1}$ al involucrarse en estos mercados (Manson *et al.,* 2008b). Dada su capacidad de incrementar la sombra y con ello la biomasa arbórea, es decir, un aumento en la tasa de secuestro de carbono, las fincas de café de sol y monocultivos de sombra pueden beneficiarse más de estos tipos de mercados. Las ganancias para los productores que participen en programas de pago por secuestro de carbono podrían maximizarse al ser combinadas con un manejo agroforestal en donde la cosecha de árboles maderables coincide con la renovación de matas de café en las parcelas de su finca. Finalmente, mantener una buena cobertura de sombra será un elemento clave en estrategias de manejo diseñados para mitigar los fuertes efectos de cambio climático sobre la producción de café en el centro del estado de Veracruz que se esperan en el futuro cercano (Laderach *et al.,* 2011).

Ecoturismo

Según el Plan Nacional de Desarrollo (2013-2018), el turismo tiene muchas características que lo convierten en una prioridad nacional por su potencial para aumentar el desarrollo, el crecimiento y generar empleos en México, sobre todo en zonas marginadas. México está dentro de los diez países del mundo con más

visitas turísticas, con unos 22 millones de personas que visitan el país cada año, generando $11.2 mil millones de dólares en ingresos e involucrando al 14% de los empleos en el país.

Existen varios tipos de turismo que los cafeticultores del centro del estado de Veracruz podrían aprovechar para aumentar sus ingresos incluyendo: 1. El turismo rural, desarrollado en el medio rural y cuya principal motivación es conocer las costumbres y las tradiciones del hombre en el mundo rural: la gastronomía, la cultura popular y las artesanías, 2. El ecoturismo, basado en el contacto con la naturaleza: sus recursos los componen las áreas naturales protegidas y zonas con una flora y fauna interesantes, conservadas y características de los lugares dónde se lleva a cabo, 3. El agroturismo, cuya finalidad es mostrar y explicar el proceso de producción de las fincas agropecuarias y las agroindustrias, 4. El agroecoturismo, donde el visitante se aloja en habitaciones con estándares turísticos, pero participa en las labores agrícolas, convive y consume los alimentos con la familia, 5. El turismo ornitológico, centrado en el avistamiento y observación de aves, y 6. El turismo de aventura: rappel, exploración de cavernas, descenso en ríos, senderismo y ciclismo de montaña.

Los productores interesados en participar en estos mercados deben unir esfuerzos con otros productores interesados en el mismo propósito, con el fin de generar rutas turísticas capaces de ofrecer una gama de oportunidades, es decir, varias opciones y tipos de actividades al turista y así atraer un flujo constante de visitantes e ingresos para la región. La Ruta del Café en el centro de Veracruz y Chiapas es un ejemplo de este tipo de esfuerzo. Las fincas de café con sombra diversificada son capaces de albergar una gran parte de la biodiversidad regional y por eso son más atractivas a los turistas preocupados por la sustentabilidad y conservación del ambiente. Además, son excelentes lugares para ver aves y mariposas, ya que no están presentes los estratos arbóreos intermedios de los bosques que podrían limitar la capacidad del turista para observar estos animales.

Los cafeticultores deben realizar inventarios de las atracciones naturales, históricas, culturales y culinarias en sus alrededores que podrían combinarse en la creación de paquetes interesantes para los turistas. Afortunadamente el centro del estado de Veracruz abunda en estas atracciones. Además, el turismo

en general y el agroturismo o agroecoturismo en particular, son importantes por su potencial de generar nuevos compradores del café producido en las fincas visitadas.

Certificación del café

La certificación del café es importante porque crea situaciones en las que tanto los productores como los compradores ganan. Por un lado, al comprador se le garantiza que el café que está adquiriendo cumple con las características deseadas, y al mismo tiempo, el cafeticultor recibe ganancias más altas e ingresos más estables de su producción. Típicamente, los certificadores del café buscan premiar a los productores que manejan sus fincas de forma sobresaliente y con ello logran alcanzar formas de producción más sustentables incluyendo aspectos de salud, seguridad alimentaria, autenticidad, respeto al ambiente y de los usos y costumbres de cada lugar. Sin embargo, es muy importante que la certificación fomente la calidad del café, medida en términos de calidad del café mismo (número de defectos, sabor y aroma), ya que es la base de la demanda del aromático. En Veracruz, se ha establecido un nuevo tipo de certificación (OIKOS) con el propósito de resaltar y fomentar la calidad en la producción y comercialización del café. Existen diferentes tipos de certificación de café (orgánico, café justo, rainforest, amigable con las aves); para una visión más profunda recomendamos revisar el trabajo de Manson *et al.* (2018).

Dados los altos costos de la certificación, es importante sumar esfuerzos, entre asociaciones de productores que compartan la misma visión de un café sobresaliente. Los productores interesados en la certificación deben asegurar que existen beneficiadores y comercializadores certificados en la región capaces de manejar su café, para evitar el costo del envío de su cosecha a otras regiones del país. Los consumidores de café certificado buscan calidad en la bebida, así como conocer y contribuir al origen de los productos y opciones de comida más saludables.

Los nichos de café certificado también llamados “mercados de conciencia”, están creciendo a un ritmo mucho mayor (10 a 30% por año) que el café genérico (1.5% por año) (Giovannucci, 2001). Además, muchos de estos nichos ofrecen precios mínimos garantizados que ayudan a los productores a blindarse contra las fluctuaciones de sobreproducción y bajos precios. Actualmente, Chiapas y

Oaxaca son los estados líderes en la producción del café certificado, pero las fincas de café de Veracruz tienen mucho potencial para ingresar en estos nichos de mercado, que aún no se han aprovechado.

Potencial para la diversificación productiva de la finca

Otra importante ventaja de mantener biodiversidad en las fincas es contar con un reservorio de especies que representan un potencial de aprovechamiento económico, o de fuente de conocimiento con aplicaciones importantes (por ejemplo, la extracción de fármacos). En la actualidad, en la ZCEV se desarrollan proyectos para el aprovechamiento de epífitas (tenchos, helechos y orquídeas) como ornato, así como para fomentar el uso de especies arbóreas maderables y no maderables en combinación con el café. Ambas prácticas de manejo tienen la finalidad de proporcionar ingresos extras al productor, que le permiten sortear mejor las épocas del año de bajos ingresos o los años de bajos precio del aromático.

15.5 ¿Cómo fomentar y mantener la biodiversidad en los cafetales?

La biodiversidad de una finca de café de sombra es relativamente fácil de mantener o incrementar, ya que el principal elemento que la promueve es el estrato arbóreo. Una buena parte de la biodiversidad vive sobre o dentro de los árboles. Por lo tanto, la primera medida de conservación de la biodiversidad es favorecer el establecimiento y crecimiento de árboles grandes. Otras medidas tienen que ver con practicar un manejo de la finca más amigable con el ambiente, y otras, con educación ambiental del productor y población en general. Para ello hay una serie de pasos simples y lógicos a seguir. Entre éstos está el conservar los árboles del bosque original, sobre todo los más altos y con troncos más gruesos. Si se van a introducir árboles, utilizar de preferencia especies nativas del bosque para crear sombra, en lugar de especies exóticas. Conviene mantener un arbolado alto y conservar o introducir árboles que formen varias capas o estratos (árboles bajos, medianos, altos o muy altos). Entre más estratos o capas haya, mayor es el número y la variedad de otras plantas y animales que pueden vivir en el cafetal. El cafetal debe incluir el mayor número de tipos de árboles posible para ser un cafetal diverso. Al promover un arbolado abundante y variado de especies naturales a la región, automáticamente se

incrementa la biodiversidad existente en la finca, ya que, como se explicó antes, los árboles sirven de refugio y proveen alimento a las aves, mamíferos medianos, murciélagos, anfibios, reptiles e insectos y proveen sostén para plantas epífitas como las orquídeas, los tenchos y los helechos, además de una serie de otros grupos no conspicuos, pero importantes en el mantenimiento de las cadenas tróficas.

En relación a un manejo de la finca más "amigable" desde el punto de vista ambiental, se recomienda no usar en lo posible agroquímicos, como herbicidas para el control de malezas y plaguicidas contra insectos, para no perjudicar a una gran cantidad de grupos de especies, como helechos, artrópodos (fundamentales para las cadenas tróficas, la polinización y controladores naturales de insectos nocivos como hormigas, moscas y avispas), anfibios y reptiles (también controladores de plagas como chapulines, hormigas y gorgojos, entre otros), que también son importantes presas para depredadores de mayor talla como mamíferos y aves. Otra medida es evitar la remoción excesiva de tenchos, orquídeas y otras especies que crecen sobre las ramas de los árboles para favorecer su diversidad y la presencia de aves, murciélagos e insectos que juegan papeles importantes en los cafetales. En caso de realizarse apertura de claros o prácticas para disminuir una sombra excesiva para el cafeto, se recomienda ampliamente podar los árboles en lugar de talarlos, para mantener ramas donde puedan vivir plantas epífitas y refugiarse otros animales.

Conviene buscar combinaciones óptimas de las especies usadas para sombra que incluyan maderables, alimenticias, medicinales, para construcción y para leña y que la selección de especies de árboles se haga no sólo con un criterio económico o utilitario, sino también con un criterio ecológico, es decir, que se prefieran especies nativas de la vegetación regional y que se dejen las que tengan diámetros o áreas basales más grandes. Además, aprovechar la madera que resulta de podas o árboles caídos en lugar de extraer madera de árboles en pie. En general, se recomienda promover cercas vivas, dejar algunas partes de la finca acahualarse, no chapear los bordes o límites de la finca y respetar la vegetación ribereña en el derecho de servidumbre a los lados de arroyos o manantiales, ya que esto permite la existencia de maleza que proporciona alimento y protección a muchos grupos de animales y asegura la calidad del agua y la salud de comunidades aledañas (Mokondoko, 2010).

Además de los árboles, es muy importante cuidar la gran variedad de microorganismos del suelo porque éstos, además de hacerlo más fértil al descomponer los restos vegetales, ayudan a combatir a los organismos que ocasionan enfermedades a las plantas, en particular a los que causan pudriciones en las raíces.

A nivel del paisaje, los productores deben ver más allá de los límites de sus fincas, ya que las transformaciones negativas del paisaje afectarán la biodiversidad dentro de éstas, sobre todo de aquellos organismos móviles que no sólo utilizan una finca como hábitat (aves, murciélagos, mamíferos) (López-Barrera y Landgrave, 2008). Un conjunto de cafetales adyacentes forma eslabones de una cadena que favorecen la biodiversidad a nivel regional. Por ejemplo, los cafetales que forman un corredor crean conectividad a nivel paisaje, lo que permite la subsistencia de muchos organismos móviles y fomenta la biodiversidad. Los cafetales que se encuentran adyacentes a fragmentos de bosque se verán beneficiados con más biodiversidad que cruzará del bosque al cafetal. Por ejemplo, en un estudio con aves se encontró que los cafetales adyacentes al bosque tropical tenían 184 especies de aves, mientras cafetales similares pero que no estaban adyacentes a bosques tenían 82 especies (Martínez y Peters, 1996). Los cafetales adyacentes a bosques no sólo benefician a la finca, sino a los organismos que habitan el bosque, los cuales tendrán más hábitat que utilizar, ya que los cafetales actuarán como una zona de amortiguamiento de los efectos negativos de otros usos de suelo (caña, potreros, etc.) (Santos-Barrera y Urbina-Cardona, 2011). Desafortunadamente, existen cada vez más fincas pequeñas rodeadas únicamente de cultivos de caña o potreros sin árboles. En estas fincas, el efecto negativo del borde es muy grande por ser fincas con poca área y porque al tener un paisaje tan poco diverso eventualmente pueden perder la biodiversidad que contienen. Por ello es importante que los productores se organicen con sus vecinos cafetaleros para que en conjunto mantengan la biodiversidad, resistan a los factores que detonan el cambio de uso de suelo y accedan a pagos por servicios ambientales. Los cafetales son muy importantes conectores de los pocos relictos de bosque en muchas regiones; si desaparecieran, habría pérdidas en cascada de biodiversidad que son difíciles de estimar.

A nivel regional y de política pública, se recomienda incrementar la diversificación de uso y aprovechamiento de los cafetales rústicos y policultivos,

sobre todo promoviendo el cultivo y manejo de especies con potencial maderable de alta calidad, que actualmente crecen en las fincas, por ejemplo, cedro, aguacate, guanacaxte, ixpepe y varias especies más (López, 2013). Las asociaciones de cafeticultores vecinos que compartan estrategias de manejo en el arbolado de las fincas pueden crear paisajes atractivos para la biodiversidad, especialmente de especies que tienen mucha movilidad como aves (pepes, tecolotes, colibríes, chipes, calandrias, tángaras, etc.), mamíferos medianos (toches o armadillos, conejos, ardillas, mapaches, cacomixtle, tlacuaches, zorras) y murciélagos (tanto de los que comen insectos, como frutilla de las matas de acahuales y monte). También se requieren acuerdos comunitarios para aumentar la vigilancia y control sobre la presencia de cazadores y de perros ferales en las fincas, con el fin de disminuir el efecto nocivo de la caza de "entretenimiento", en especial de mamíferos medianos y algunas aves. Establecer por acuerdo colectivo reservas forestales permitirá que el paisaje sea más amigable para la biodiversidad, sin que perjudique al cafetal. Al mismo tiempo, la asociación organizada empodera para buscar apoyos por pagos por servicios ambientales (PSA) u otras políticas encaminadas a la conservación del ambiente. En términos generales, los cafetales de sombra deben ser considerados como cultivos estratégicos en los ejercicios de planeación regional, incluyendo a los ordenamientos territoriales dada su capacidad de conservar la biodiversidad y de proporcionar muchos otros servicios ambientales importantes para comunidades aledañas.

Finalmente, otro medio de fomentar la biodiversidad es mediante la educación ambiental, tanto en el medio rural como en el urbano. Además de divulgar el valor ecológico, estético y económico de la biodiversidad debe insistirse a nivel local en varios puntos importantes. En particular con la población joven (niños y adolescentes) desanimar el uso del "charpe" y la cacería no controlada e ilegal. Debe explicarse a los hijos que conviene favorecer la existencia de aves, ya que son dispersoras de semillas, comedoras de insectos plaga y buscadas por los observadores de aves y los clientes potenciales de ecoturismo. También deben hacerse campañas de control de perros y gatos vagabundos en las fincas, por razones ecológicas y de salud pública. Finalmente, debe educarse a la población para que no queme cuevas ni huecos de árboles donde haya colonias de murciélagos hasta que un especialista determine si se trata de murciélagos benéficos (que es casi siempre el caso), o si se trata de vampiros (raros en cafetales y generalmente más comunes en zonas ganaderas).

15.6. Conclusiones

Es muy importante conservar la biodiversidad de plantas y animales con los que compartimos la Tierra, no sólo porque cada especie es única y el producto de millones de años de evolución, sino porque estas especies, en conjunto, proporcionan un gran número de servicios ambientales que son necesarios para nuestro bienestar. Los ecosistemas con más especies son más resistentes a perturbaciones y tienen mayor capacidad de recuperarse y adaptarse al cambio global para seguir brindándonos sus servicios ambientales.

México y en particular el estado de Veracruz, son muy afortunados de tener tanta biodiversidad, aunque ésta se encuentra concentrada en sólo unas cuantas regiones o en sistemas agroforestales como los cafetales, con un ritmo de pérdida alarmante. La reconversión de la vegetación natural a otros usos de suelo, es la principal causa de la pérdida de la biodiversidad, resultando en: menos hábitat para las especies, poblaciones más pequeñas y aisladas, y un aumento en el riesgo de extinción para las especies del bosque. Debido a su sombra diversificada y ubicación en la zona media-alta de las cuencas donde quedan los últimos fragmentos del bosque de niebla, las fincas de café de sombra pueden jugar un papel importantísimo en la conservación de la biodiversidad y los servicios ambientales en México, ya que constituyen la masa forestal más importante y extensa de la ZCEV. En conjunto, las fincas de café de sombra en el centro de Veracruz son capaces de albergar casi toda la biodiversidad presente en estos bosques (87%); además, cada finca tiene una combinación única de especies que es importante conservar por ser complementaria de la biodiversidad regional. Los cafetales de sombra ayudan a conservar la biodiversidad de los remanentes del bosque de niebla, creando corredores biológicos que fomentan el movimiento de individuos entre ellos y amortiguan cambios abruptos de microclima en sus bordes, que podrían provocar su deterioro y reducir el hábitat para las especies que viven en el bosque.

Las fincas de café que conservan más biodiversidad son aquellas manejadas como fincas rústicas o policultivos tradicionales con mucha sombra (arriba del 40%), más diversidad de árboles (mínimo 8 a 10 especies nativas), árboles grandes (arriba de 20 m de altura), una variedad de tamaños de árboles que crea diferentes hábitats (estratos) para una gran variedad de vida silvestre, entre la

que destacan los tenchos y las orquídeas. Hay que cuidar también la biodiversidad "invisible" en los suelos que ayuda a mantener su fertilidad, pero que es dañada por el uso de plaguicidas, herbicidas y fertilizantes fosforados.

Es importante resaltar la importancia de utilizar métodos de estimación adecuados de dicha biodiversidad, considerando el nivel de biodiversidad que se quiere analizar (dentro o entre comunidades), el grupo biológico con el que se está trabajando y las restricciones matemáticas de algunos índices y los supuestos biológicos en los que se basa (Moreno, 2001). Estas medidas de diversidad permitirán respaldar formalmente la importancia del área que se está manejando en miras al pago por servicios ambientales.

Hay muchos mercados nuevos interesados en incentivar a los productores por un buen manejo de su finca, que incluye una sombra diversificada. La mayoría requieren un periodo corto de preparación y la coordinación entre grupos de productores. Las áreas de oportunidad para obtener beneficio económico por conservar la biodiversidad son los Pagos por Servicios Ambientales, el ecoturismo y los mercados de café certificado (orgánico, café justo, rainforest, amigable a las aves y OIKOS).

Agradecimientos

A Aline Ortega Pieck por su valiosa asistencia en la integración y revisión del texto.

Literatura citada

Altieri, M. Á. y C. I. Nicholls. 2007. Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas (Vol. 2). Icaria Editorial. Barcelona, España. 248 p.

Branca, G., N. McCarthy, L. Lipper and M. C. Jolejole. 2013. Food security, climate change and sustainable land management, a review. Agronomy for Sustainable Development 33:635-650.

Benzing, D. H. 1995. Vascular epiphytes. p. 225-254. *In:* Lowman, M. D. and N. M. Nadkarni (eds.). Forest Canopies. Academic Press. San Diego, CA, USA.

Coddington, J. A., C. E. Griswold, D. S. Dávila, E. Peñaranda and S. F. Larcher. 1991. Designing and testing sampling protocols to estimate biodiversity in tropical ecosystems. p. 44-60. *In:* Dudley, E. C. (ed.). The Unity of Evolutionary Biology: Proceedings of the Fourth International Congress of Systematic and Evolutionary Biology Dioscorides Press. Portland, Oregon, USA.

Deloya, C. y M. M. Ordóñez R. 2008. Escarabajos (insecta: Coleoptera). p. 123-134. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter. (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología, A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Faminow, M. D. and E. Ariza R. 2001. Biodiversity of flora and fauna in shaded coffee systems. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). Latin American Regional Office. Lima, Perú. 36 p.

Gallina, S., S. Mandujano and A. González-Romero. 1996. Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of Central Veracruz, México. Agroforestry Systems 33(1):13-27.

Gallina, S., A. González R. y R. Manson H. 2008. Mamiferos pequeños y medianos. p:161-180. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter. (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología, A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Geist, H. J. and E. F. Lambin. 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation: Tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. BioScience 52:143-150.

Gibbs, H. K., A. S. Ruesch, F. Achard, M. K. Clayton, P. Holmgren, N. Ramankutty *et al.* 2010. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. Proceedings of the National Academy of Sciences 107(38):16732-16737.

Giovannucci, D. 2001. Sustainable coffee survey of the North American specialty coffee industry. The Summit Foundation. The Nature Conservancy. North American Commission for Environmental Cooperation. Specialty Coffee Association of America. The World Bank. Philadelphia, PA, USA. 32 p.

González-Romero, A. y R. Murrieta-Galindo. 2008. Anfibios y reptiles. p. 135-147. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Gordon, C., R. Manson, J. Sundberg and A. Cruz-Angón. 2007. Biodiversity, profitability, and vegetation structure in a Mexican coffee agroecosystem. Agriculture, Ecosystems & Environment 118(1):256-266.

Guevara, C. L. M. y A. Sainoz A. 2012. Murciélagos: controladores naturales de plagas agrícolas. Contactos 83:29-35.

Guhl, A. 2004. Café y cambio de paisaje en la zona cafetera colombiana entre 1970 y 1997. Cenicafé 55:29-44.

Guhl, A. 2008. Coffee production intensification and landscape change in Colombia, 1970–2002. p. 93-116. *In:* Millington, A. and W. Jepson. (eds.). Land Change Science in the Tropics. Springer. Boston, MA, USA.

Guhl, A. 2009. Café, bosques y certificación agrícola en Aratoca, Santander. Revista de Estudios Sociales 32:114-125.

Heredia, G. y R. M. Arias. 2008. Hongos saprobios y endomicorrizógenos en suelos. p. 193-212. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina, S. y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Hernández-Martínez, G., R. H. Manson and A. Contreras H. 2009. Quantitative classification of coffee agroecosystems spanning a range of production intensities in central Veracruz, México. Agriculture, Ecosystems & Environment 134(1):89-98.

Hernández-Ortiz, V. y F. J. Dzul-Cauich. 2008. Moscas (insecta: Diptera). p. 95-117. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Jose, S. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. Agroforestry Systems 76:1-10.

Jost, L. 2006. Entropy and diversity. Oikos 113:363-375.

Kraker-Castañeda, C. y S. G. Pérez-Consuegra. 2011. Contribución de los cafetales bajo sombra en la conservación de murciélagos en La Antigua Guatemala. Acta Zoológica Mexicana 27(2):291-303.

Laderach, P., M. Lundy, A. Jarvis, J. Ramírez, E. Perez-Portilla, K. Schepp *et al.* 2011. Predicted impact of climate change on coffee supply chains. p. 703-723. *In:* Filho, W. L. (ed.). The Economic, Social and Political Elements of Climate Change. Springer. Heidelberg, Berlin, Alemania.

Larsen, A. and S. M. Philpott. 2010. Twig-nesting ants: The hidden predators of the coffee berry borer in Chiapas, México. Biotropica 42(3):342-347.

López-Barrera, F. y R. Landgrave. 2008. Variación de la biodiversidad a nivel paisaje. p. 259-270. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

López-Gómez, A. M., G. Williams-Linera and R. H. Manson. 2008. Tree species diversity and vegetation structure in shade coffee farms in Veracruz, México. Agriculture, Ecosystems & Environment 124(3):160-172.

López, M. R., G. Díaz P., J. G. Salazar G., L. E. García M., R. Guajardo P. 2013. Árboles nativos en el sombreado de cafetales: caso de la zona centro del estado de Veracruz. INIFAP- Campo Experimental Cotaxtla/S.E. Teocelo. Libro Técnico Núm. 35. Medellín de Bravo, Ver. 184 p.

Magurran, A. 2004. Measuring biological diversity. Blackwell Publishing. Oxford, Reino Unido. 256 p.

Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter. 2008a. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. 330 p.

Manson, R. H., V. Sosa F. y A. Contreras. H. 2008b. Efectos del manejo sobre la biodiversidad: síntesis y conclusiones. p. 279-302. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Manson, R. H., F. López-Barrera, V. Sosa y A. Ortega-Pieck. 2018. Biodiversidad y otros servicios ambientales-Manual de mejores prácticas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. 88 p.

Martín-López, B., J. A. González, S. Díaz, I. Castro y M. García-Llorente. 2007. Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la diversidad funcional. Revista Ecosistemas 16:69-80.

Martínez, E. y W. Peters. 1996. La cafeticultura biológica: la finca Irlanda como estudio de caso de un diseño agroecológico. p. 159-183. *In:* Arriaga, J. T., F. L. González, R. C. Arózqueta y P. T. Lima (eds.). Ecología Aplicada a la Agricultura: Temas Selectos de México. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. México, D. F.

Mehltreter, K. 2008. Helechos. p. 83-93. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Méndez, V. E. y C. M. Bacon. 2005. Medios de vida y conservación de la biodiversidad arbórea: las experiencias de las cooperativas cafetaleras en El Salvador y Nicaragua. LEISA Revista de Agroecología 20(4):27-30.

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

Moguel, P. y V. M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of México. Conservation Biology 13:11-21.

Mokondoko, D. S. P. 2010. Estudio de las relaciones entre cambio de uso de suelo, calidad del agua y salud pública, para la valoración de servicios ambientales hidrológicos en la parte alta de la cuenca Río La Antigua, Veracruz. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, A. C. México, D. F. 125 p.

Montagnini, F. and P. K. R. Nair. 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. Agroforestry Systems 61(1-3):281-295.

Moorhead, L. C., S. M. Philpot and P. Bichier. 2010. Epiphyte biodiversity in the coffee agricultural matrix: Canopy stratification and distance from forest fragments. Conservation Biology 24:737-746.

Moreno, C. E. and G. Halffter. 2000. Assessing the completeness of bat biodiversity inventories using species accumulation curves. Journal of Applied Ecology 37:149-158.

Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Vol. 1. Serie Manuales y Tesis SEA. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe de la UNESCO. Sociedad Entomológica Aragonesa. Zaragoza, España. 84 p.

Murrieta-Galindo, R., F. López-Barrera, A. González-Romero and G. Parra-Olea. 2013a. Matrix and habitat quality in a montane cloud-forest landscape: Amphibians in coffee plantations in central Veracruz, México. Wildlife Research 40:25-35.

Murrieta-Galindo, R., A. González-Romero, F. López-Barrera and G. Parra-Olea. 2013b. Coffee agrosystems: An important refuge for amphibians in central Veracruz, México. Agroforestry Systems 87:767-779.

Muschler, R. G. 1999. Árboles en cafetales. Proyecto Agroforestal. Materiales de Enseñanza No. 45. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Cooperación Técnica Alemana (GTZ). Turrialba, Costa Rica. 139 p.

Oehl, F., E. Sieverding, P. Mäder, D. Dubois, K. Ineichen, T. Boller *et al.* 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. Oecologia 138(4):574-583.

Pagiola, S. e I. M. Ruthenberg. 2006. La venta de biodiversidad en una taza de café: el café de sombra y la conservación forestal en Mesoamérica. p. 207-240. *In:* Pagiola, S., J. Bishop y N. Landell-Mills (eds.). La venta de los Servicios Ambientales Forestales. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Perfecto, I., J. Vandermeer, A. Mas and L. S. Pinto. 2005. Biodiversity, yield, and shade coffee certification. Ecological Economics 54(4):435-446.

Perfecto, I., I. Armbrecht, S. M. Philpott, L. Soto-Pinto and T. V. Dietsch. 2007. Shaded coffee and the stability of rainforest margins in Northern Latin America. p. 225-261. *In:* Tscharntke, T., C. Leuschner, M. Zeller and E. Guhardja (eds.). Stability of Tropical Rainforest Margins. Springer. Heidelberg, Berlín, Alemania.

Philpott, S. M., W. J. Arendt, I. Armbrecht, P. Bichier, T. V. Diestch, C. Gordon *et al.* 2008. Biodiversity loss in Latin American coffee landscapes: Review of the evidence on ants, birds, and trees. Conservation Biology 22(5):1093-1105.

Posada, F. J., D. A. Villalba y A. E. Bustillo. 2004. Los insecticidas y el hongo *Beauveria bassiana* en el control de la broca del café. Cenicafé 55(2):136-149.

Rojas, S. A., K. Hartman U. y R. Almonacid M. 2012. El impacto de la producción de café sobre la biodiversidad, la transformación del paisaje y las especies exóticas invasoras. Ambiente y Desarrollo 16(30):93-104.

Rudel, T. K., R. Defries, G. P. Asner and W. F. Laurance. 2009. Changing drivers of deforestation and new opportunities for conservation. Conservation Biology 23(6):1396-1405.

Santos-Barrera, G. and J. N. Urbina-Cardona. 2011. The role of the matrix-edge dynamics of amphibian conservation in tropical montane fragmented landscapes. Revista Mexicana de Biodiversidad 82(2):679-687.

Soberón, J. and J. Llorente. 1993. The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. Conservation Biology 7(3):480-488.

Sosa, V., E. Hernández-Salazar, D. Hernández-Conrique y A. Castro-Luna. 2008. Murciélagos (mammalia: Chiroptera). p. 181-192. *In:* Manson, R. H., V. Hernández O., S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Soto-Pinto, L., I. Perfecto and J. Caballero-Nieto. 2002. Shade over coffee: Its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, México. Agroforestry Systems 55(1):37-45.

Tejeda-Cruz, C. and W. J. Sutherland. 2004. Bird responses to shade coffee production. Animal Conservation 7(2):169-179.

Tejeda-Cruz, C. y C. Gordon. 2008. Diversidad y abundancia de aves en un gradiente cafetalero del centro de Veracruz. p. 149-160. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Tejeda-Cruz, C., K. Mehltreter y V. Sosa. 2008. Indicadores, ecológicos multi-taxonómicos. p. 271–278. *In:* Manson, R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Toledo-Aceves, T., K. Mehltreter, J. G. García-Franco, A. Hernández-Rojas and V. J. Sosa. 2013. Benefits and costs of epiphyte management in shade coffee plantations. Agriculture, Ecosystems and Environment 181(1):149-156.

Valenzuela-González, J., L. Quiroz-Robledo y D. L. Martínez-Tlapa. 2008. Hormigas (insecta: Hymenoptera: Formicidae). p. 107–121. *In*: Manson R. H., V. Hernández O., S. Gallina y K. Mehltreter (eds Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. México.

Williams-Linera, G. 2002. Tree species richness complementary, disturbance and fragmentation in a Mexican tropical montane cloud forest. Biodiversity and Conservation 11(10):1825-1843.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria, Centros de Investigación Regional y Campos Experimentales

Sede de Centro de Investigación Regional
Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
Campo Experimental

Créditos Editoriales

Revisión Técnica:
Dr. Carlos Alberto Tinoco Andrade
M.C. José Raúl Rodríguez Rodríguez

Edición:
Dr. Valentín A. Esqueda Esquivel
M.C. Oscar H. Tosquy Valle
Dr. Marcos Ventura Vázquez Hernández

Formación y diseño:
Mtra. Claudia Perdomo Montes
M. C. Luis Eduardo García Mayoral
Ing. Modesto Carlos Castillo Guerrero

Coordinación General:
M.C. Sergio A. Curti Díaz
Dr. Julio C. Vinay Vadillo
Dr. Sergio Uribe Gómez
Dr. Valentín A. Esqueda Esquivel

Código INIFAP: MX-0-310308-52-04-19-06-39

Editado en el Centro de Investigación Regional Golfo Centro del INIFAP. Km. 22.5 Carretera Veracruz-Córdoba, Paso del Toro, mpio. de Medellín, Ver., México. CP. 94277, Teléfonos: 229-262-2203 al 05 y 800-088-2222, ext. 87809

Campo Experimental Cotaxtla

Dr. Isaac Meneses Márquez
Jefe del Campo

C. P. Yuliana Reyes Hernández
Jefa Administrativa

Personal Investigador	Programa de investigación
Becerra Leor Enrique Noé	Sanidad Forestal y Agrícola
Cabrera Mireles Héctor	Sanidad Forestal y Agrícola
Capetillo Burela Ángel	Manejo Integral de Cuencas
Couttolenc Brenis Edgar	Cultivos Industriales Perennes (Café)
Del Angel Pérez Ana Lid	Manejo Forestal Sustentable y Servicios Ambientales
Díaz Padilla Gabriel	Agrometeorología y Modelaje
Durán Prado Arturo	Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal
Esqueda Esquivel Valentín Alberto	Sanidad Forestal y Agrícola
Guajardo Panes Rafael Alberto	Agrometeorología y Modelaje
Hernández Estrada Carmen Aridai	Socioeconomía
Ibarra Pérez Francisco Javier	Frijol y Garbanzo
Inurreta Aguirre Héctor Daniel	Agrometeorología y Modelaje
López Morgado Rosalío	Cultivos Industriales Perennes (Café)
López Vázquez Maria Enriqueta	Frutales
Mendoza Mexicano Maurilio	Caña de Azúcar
Meneses Márquez Isaac	Recursos Genéticos
Miranda Marini Rogelio	Caña de Azúcar
Montiel Vicencio Gerardo	Sanidad Forestal y Agrícola
Natarén Velázquez Jeremías	Manejo Forestal Sustentable y Servicios Ambientales
Peralta Antonio Nain	Frutales
Rebolledo García Rosa Laura	Bioenergía
Rebolledo Martínez Andrés	Frutales
Rebolledo Martínez Laureano	Frutales
Reynolds Chávez Marco Antonio	Mecanización
Rodríguez Escobar Jorge Gustavo	Sanidad Forestal y Agrícola
Rodríguez Montalvo Flavio Antonio	Maíz
Rosas González Xóchitl	Frutales
Sierra Macías Mauro	Maíz
Tinoco Alfaro Carlos Alberto	Agrometeorología y Modelaje
Toral Juárez Marco Antonio	Cultivos Industriales Perennes (Café)
Tosquy Valle Oscar Hugo	Frijol y Garbanzo
Ugalde Acosta Francisco Javier	Frijol y Garbanzo
Uriza Ávila Daniel Emigdio	Frutales
Vásquez Hernández Andrés	Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal
Vázquez Hernández Marcos V.	Recursos Genéticos
Zetina Lezama Rigoberto	Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal

AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

www.gob.mx/inifap

La cafeticultura en México con bondades ecológicas por llevarse a cabo bajo sombra, ha confrontado una rentabilidad mínima por su escasa productividad, vinculada ésta a precios bajos en el mercado internacional. Ante tal tesitura y problemática generada, este libro es una importante contribución en alternativas de solución, donde un trabajo basado en el marco conceptual de *Café In Red*, tejido multi y transdiciplinario entre instituciones para una cafeticultura sustentable; presenta resultados de estudios e investigaciones en la Zona Centro del Estado de Veracruz (ZCEV). No obstante, mucho de ello extrapolable a otras regiones productoras de café en el país, ya que, a lo largo de los quince capítulos, la concepción del cafetal bajo sombra como un agroecosistema, con fuerte componente agroforestal, se sostiene como unidad de estudio. Los resultados se obtuvieron, con excepción de investigaciones puntuales, al implementarse un Observatorio Cafetalero en la ZCEV que consistió en la selección, mediante técnicas de muestreo, de 59 cafetales con cuyos dueños se desarrolló un proceso interactivo de acción-investigación y capacitación-desarrollo, presentándose esta compilación técnico-científica a través de numerosos cuadros, figuras, mapas y sus respectivos enunciados contextuales, metodológicos y explicativos.

Café in RED
Red Intersectorial para la Cafeticultura